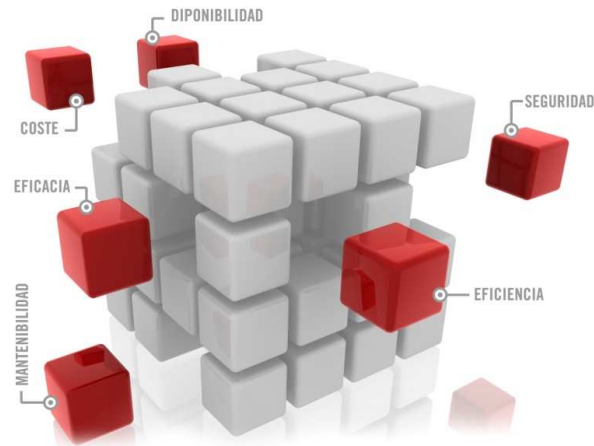


---

# Utilización de técnicas de optimización para la elección del diseño de juntas



**XIII Congreso**  
**de Confiabilidad**  
Zaragoza, 23, 24 y 25 de noviembre de 2011

Susana Calvo Molina - scalvo@ita.es

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ARAGÓN**



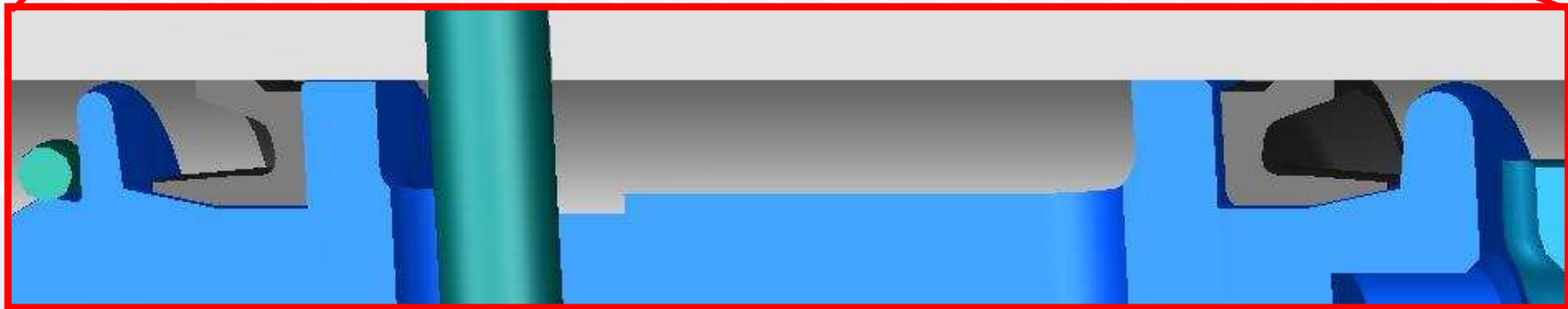
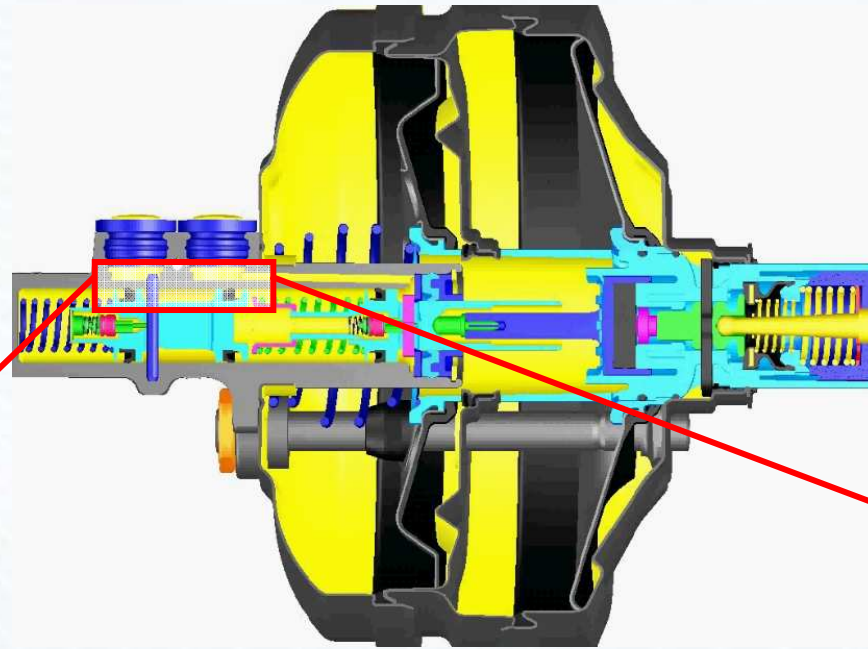
- Tradicionalmente los métodos de prueba-error han sido ampliamente utilizados para el desarrollo de nuevos diseños.
- La fiabilidad y calidad del producto final es dependiente de la experiencia del diseñador.

## Tendencia actual y ventajas

- Actualmente, las simulaciones numéricas combinadas con el uso de técnicas de optimización son utilizadas durante la etapa de diseño para obtener productos de alta calidad en un plazo y coste competitivos.
- Las nuevas metodologías permiten, mediante la automatización del proceso de diseño utilizando simulaciones numéricas, predecir las características de funcionamiento del producto y las restricciones del problema, aumentar las evaluaciones sobre el producto, analizar múltiples diseños alternativos y adquirir mayor conocimiento sobre el producto.

## Descripción del componente analizado

- Juntas de gomas en cilindros maestros



- Objetivos
- Descripción del modelo analizado
- Metodología para la optimización de juntas
  - Determinación de las variables que afectan al comportamiento del componente
  - Técnicas de diseño por exploración
    - Aproximación DoE
    - Generación modelo matemático aproximado
    - Aproximación de optimización
  - Diseño robusto (DFSS)
- Conclusiones
- Posibles aplicaciones

## Objetivo general

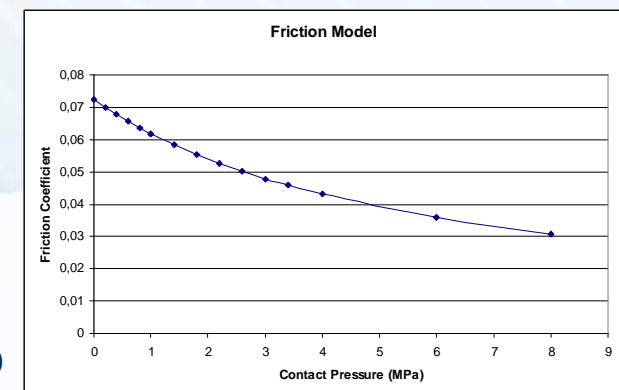
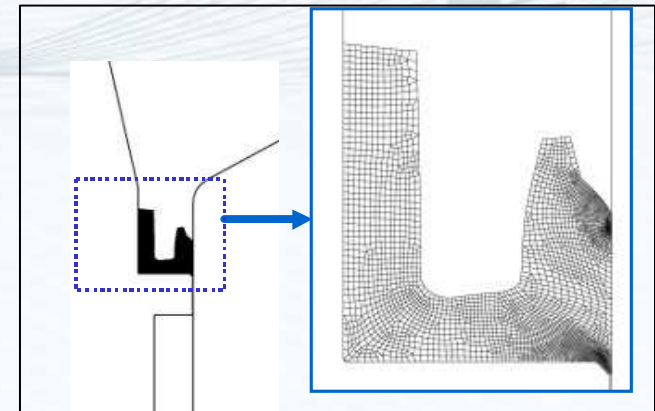
- Estudio de procedimientos y métodos de optimización que ayuden en el proceso de diseño de juntas de recuperación.

## Objetivos específicos

- Desarrollo de una metodología numérica para mejorar el comportamiento mecánico y tribológico de una junta de goma explorando el espacio de diseño y optimizando el mejor diseño que cumpla los requerimientos.
- Metodología basada en la combinación de simulaciones MEF en Abaqus con algoritmos de optimización implementados en Isight for Abaqus.
- Evaluación de la fiabilidad y robustez del diseño propuesto mediante la aplicación de herramientas de DFSS.

## Modelo de Elementos Finitos

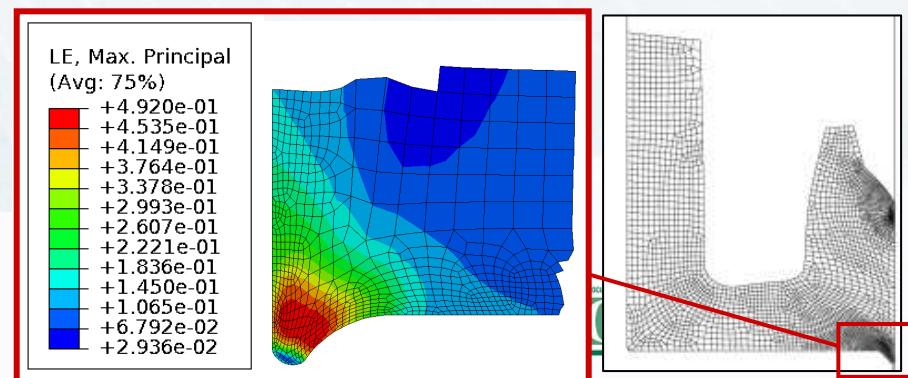
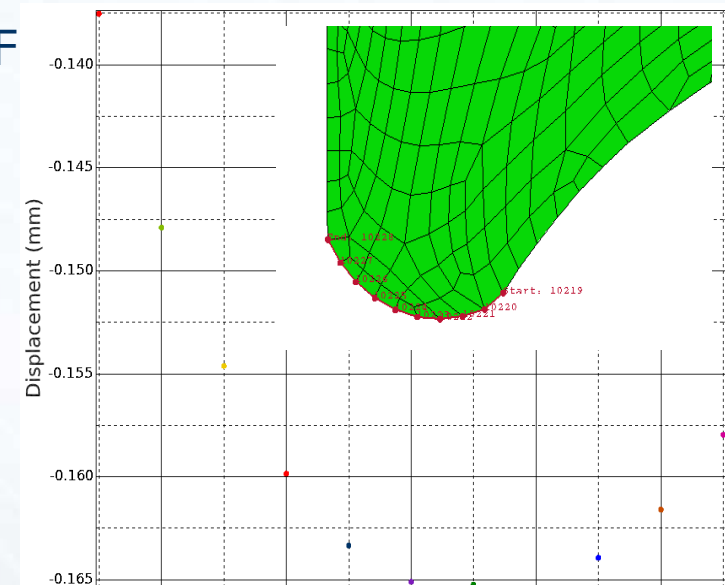
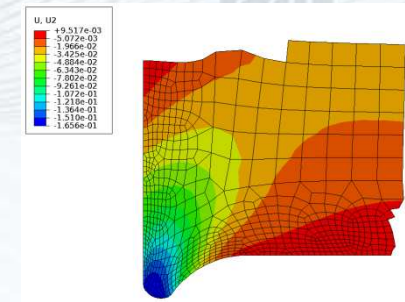
- Modelo 2D axisimétrico de la sección de la junta (CAX4H)
- Alojamiento y componentes en contacto modelados como superficies rígidas
- Modelo de material hiperelástico: Mooney-Rivlin (dureza 75 según escala Shore A)
- Condiciones de contorno
  - Desplazamientos (X) y rotaciones ( $\theta_z$ ) restringidos en el nodo de referencia de la superficie que simula el émbolo.
  - Desplazamientos (X, Y) y rotaciones ( $\theta_z$ ) restringidos en el nodo de referencia de la superficie que simula el alojamiento del cilindro.
- Cargas
  - Presión de 120 bares aplicada en la superficie libre de la junta en el lado de la cámara a presión.
  - Desplazamiento de 20 mm en dirección Y aplicado en el émbolo.
- Modelo de fricción utilizado para simular el contacto entre los componentes de acuerdo a un comportamiento dependiente de la presión de contacto



## 1.- Determinación de las variables que afectan al comportamiento del componente

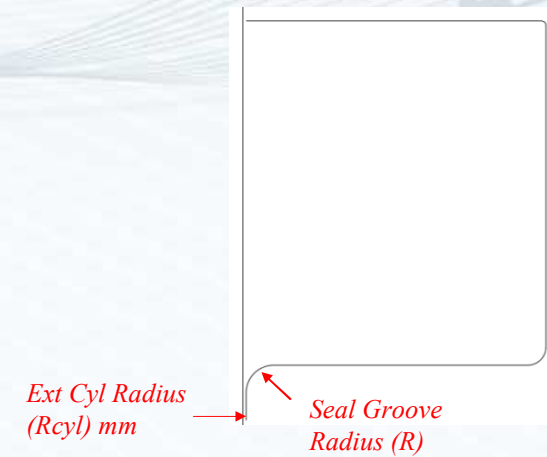
**Objetivo:** Determinación de las variables de diseño y rangos de variación

- Análisis de resultados obtenidos mediante el MEF
- Determinación de variables que afectan al comportamiento mecánico y tribológico
- La mejora del comportamiento de la junta en términos de durabilidad se consigue:
  - Reduciendo la longitud de extrusión en la zona mostrada
  - Reduciendo las deformaciones máximas
- Variables de diseño que afectan a estos resultados:
  - Parámetros geométricos
  - Propiedades de material
  - Modelo de fricción



## 1.- Determinación de las variables que afectan al comportamiento del componente

- Variables iniciales de diseño y rango de variación



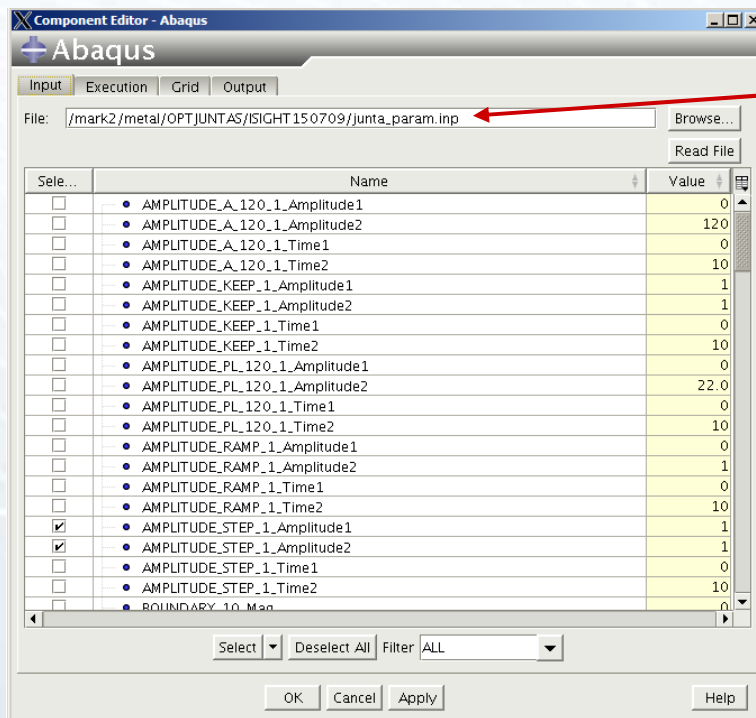
<i>DESIGN VARIABLES</i>	<i>INITIAL DESIGN</i>	<i>RANGE OF VARIATION</i>
<i>Seal Groove Radius (R)</i>	<i>0.3 mm</i>	<i>0.1-0.5 mm</i>
<i>External cylinder housing Radius (Rcyl)</i>	<i>11.94 mm</i>	<i>11.91-12.00 mm</i>
<i>Material Hardness</i>	<i>75</i>	<i>75, 80, 85</i>
<i>Thirion Friction model scaling (A)</i>	<i>1</i>	<i>1-5</i>



## 2.- Técnicas de diseño por exploración

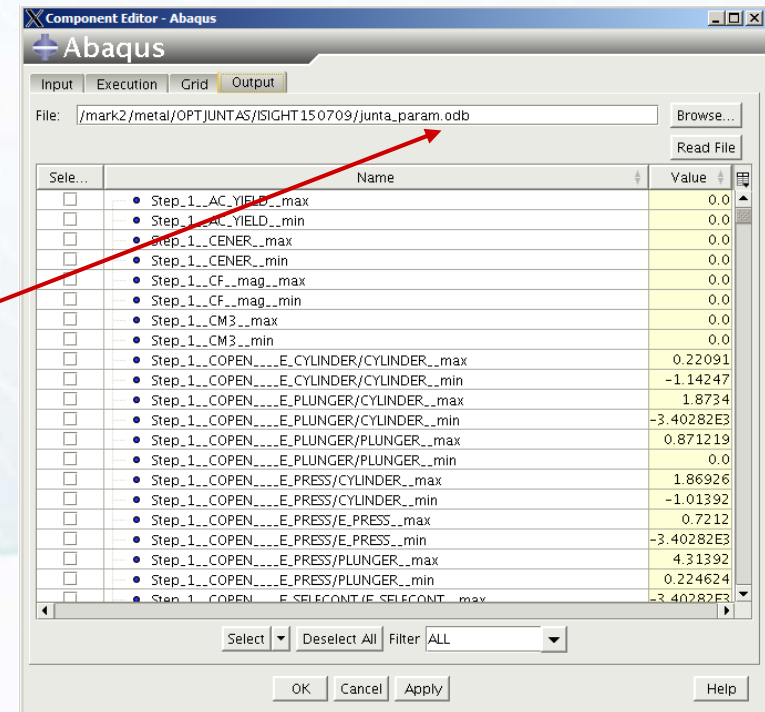
**Objetivo:** Generar una estrategia de diseño automatizada para mejorar el diseño de juntas

- Aproximación DoE: analiza la sensibilidad de los atributos de diseño, identifica factores críticos y define un diseño inicial
  - En Isight las entradas utilizadas para realizar el análisis son:



Fichero.inp

Fichero.odb



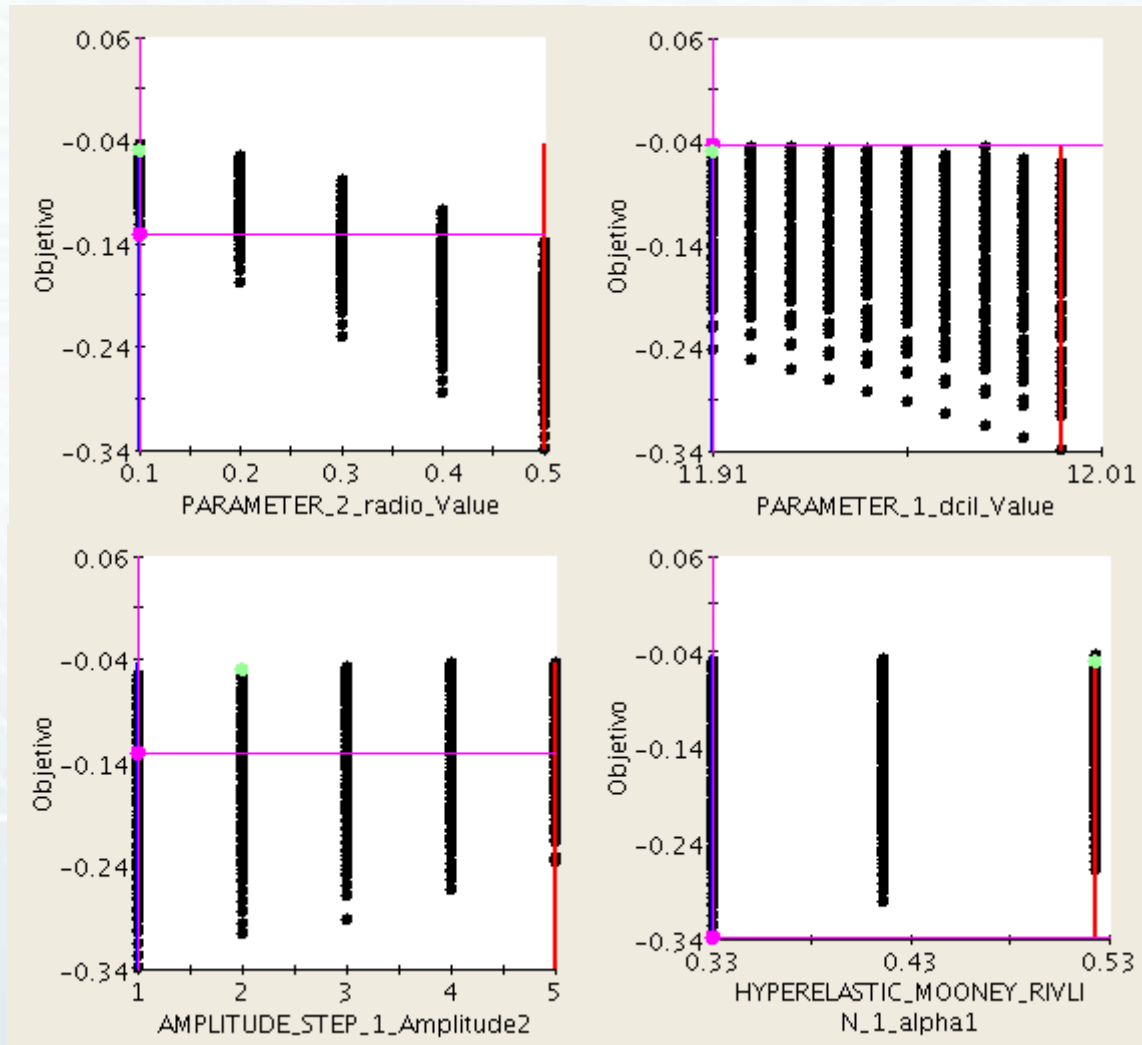
## 2.- Técnicas de diseño por exploración

- Aproximación DoE
  - Variables de entrada y niveles
  - Variables de salida: Máximos desplazamientos en la zona de extrusión y deformaciones logarítmicas equivalentes
  - Técnica DoE: Full factorial
  - Esta técnica es posible puesto que el tiempo computacional para cada cálculo y el número de variables de diseño no es muy elevado. Aunque tiene elevados requerimientos computacionales proporciona información exhaustiva que permite generar aproximaciones que serán aplicadas en siguientes fases de la metodología

<i>DESIGN VARIABLES</i>	<i>LEVELS</i>	
<i>Seal Groove Radius (R)</i>	0.1,0.2,0.3,0.4,0.5	
<i>External cylinder housing Radius (R<sub>cyl</sub>)</i>	11.91,11.92,11.93,11.94,11.95,11.96,11.97,11.98,11.99,12.0	
<i>Friction Model Scaling (A<sub>seal-mc</sub>=A<sub>seal-plunger</sub>)</i>	1,2,3,4,5	
<i>Mooney-Rivlin Material Constants (C<sub>10</sub>=4*C<sub>01</sub>)</i>	<i>C<sub>10</sub></i>	1.320,1.663,2.094
	<i>C<sub>01</sub></i>	0.330,0.416,0.523

## 2.- Técnicas de diseño por exploración

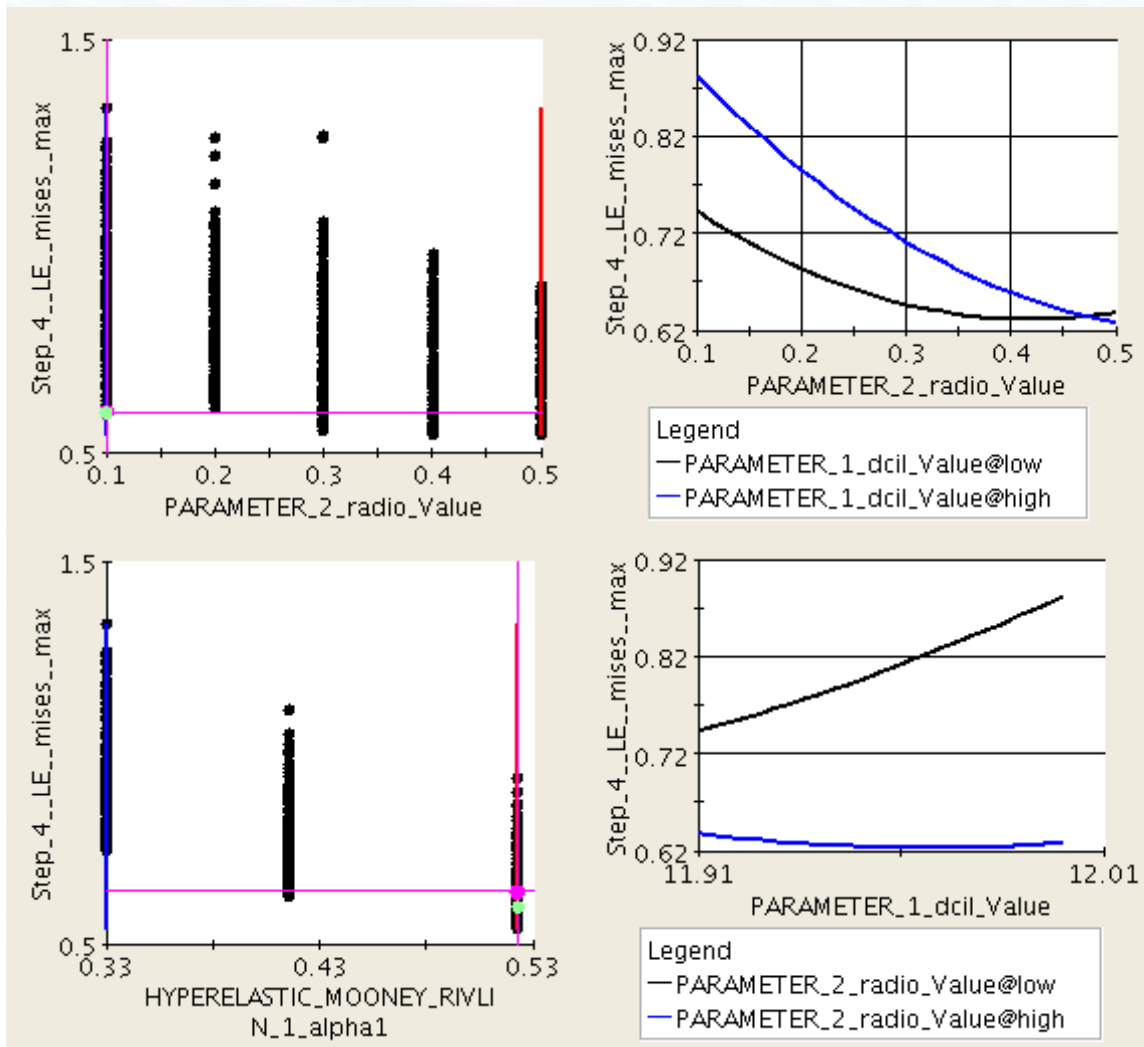
- Aproximación DoE
  - Análisis de resultados



- Si aumentan los valores de los parámetros geométricos ( $R$ ,  $R_{cil}$ ) aumentan los desplazamientos de la zona de extrusión
- Cuando aumenta la amplitud del modelo de fricción disminuyen los máximos desplazamientos aunque se mantienen los valores mínimos
- A mayor dureza del material menores son los desplazamientos

## 2.- Técnicas de diseño por exploración

- Aproximación DoE
  - Análisis de resultados



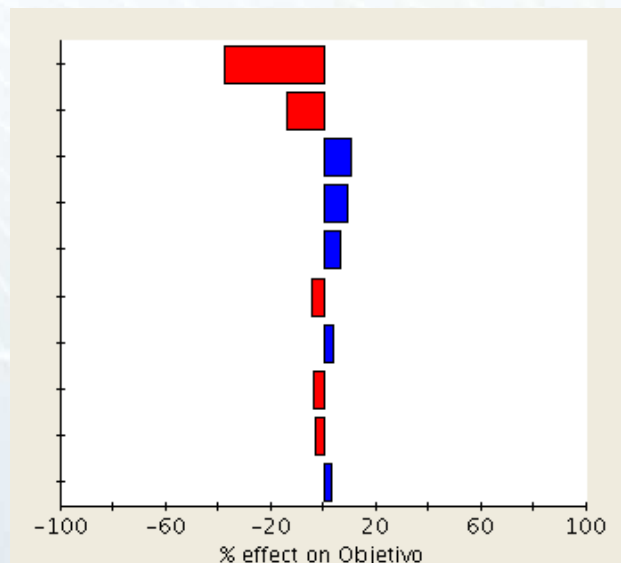
- El aumento del radio de la ranura de la junta (R) provoca una disminución en las deformaciones logarítmicas en la zona de extrusión
- Un incremento del radio de la ranura R, con el radio del cilindro constante, produce menores deformaciones en la zona de extrusión
- Un incremento del radio del cilindro, con R constante, causa mayores deformaciones
- A mayor dureza del material menores son las deformaciones

## 2.- Técnicas de diseño por exploración

- Aproximación DoE
  - Distribuciones de Pareto

El orden de las barras indica los efectos de cada variable aleatoria en la respuesta, estando ordenadas de mayor efecto a menor. Las barras azules indican efectos positivos en las respuestas, mientras que las barras rojas indican efectos negativos. Por lo tanto, este tipo de gráficos se utiliza para identificar los factores con los efectos más significativos o con mayores contribuciones en las respuestas

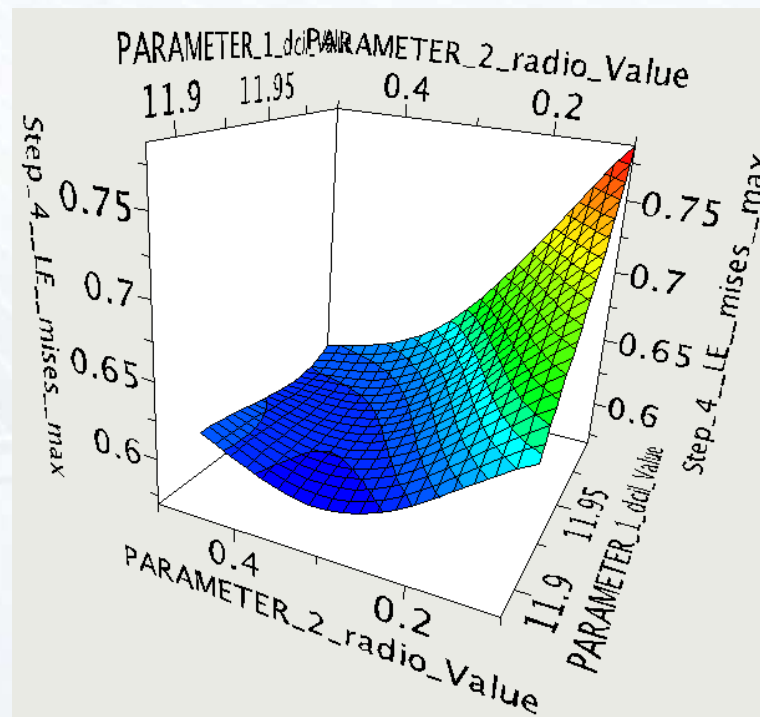
En el caso analizado, son las variables geométricas las que producen los mayores efectos en los desplazamientos de la zona crítica



Run	normalized
PARAMETER_2_radio_Value	-37,3429701
PARAMETER_1_dcil_Value	-13,617895
AMPLITUDE_STEP_1_Amplitude2	10,751521
HYPERELASTIC_MOONEY_RIVLIN_1_alpha1	9,26541902
AMPLITUDE_STEP_1_Amplitude2-PARAMETER_2_radio_Value	6,11071275
PARAMETER_2_radio_Value^2	-4,36498523
PARAMETER_2_radio_Value-HYPERELASTIC_MOONEY_RIVLIN_1_alpha1	3,80809668
AMPLITUDE_STEP_1_Amplitude2^2	-3,50448194
PARAMETER_1_dcil_Value-PARAMETER_2_radio_Value	-3,36183725
AMPLITUDE_STEP_1_Amplitude2-PARAMETER_1_dcil_Value	3,20745312
PARAMETER_1_dcil_Value-HYPERELASTIC_MOONEY_RIVLIN_1_alpha1	2,53381868
HYPERELASTIC_MOONEY_RIVLIN_1_alpha1^2	-1,06494862
PARAMETER_1_dcil_Value^2	-0,99440602
AMPLITUDE_STEP_1_Amplitude2-HYPERELASTIC_MOONEY_RIVLIN_1_alpha1	0,97145457

## 2.- Técnicas de diseño por exploración

- Generación de una aproximación: construye un modelo matemático que relaciona grupos de entradas y salidas para reducir el tiempo de evaluación requerido en los siguientes análisis
  - Tipo de aproximación: Response Surface Model (RSM)
  - Construida a partir de los datos generados en el DoE
  - Diferencias entre simulaciones reales y predichas inferiores al 10%



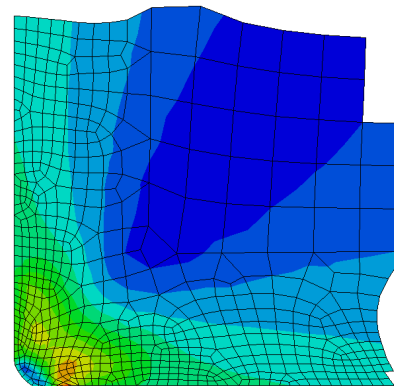
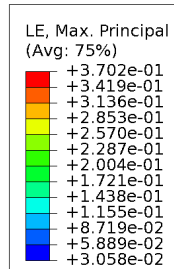
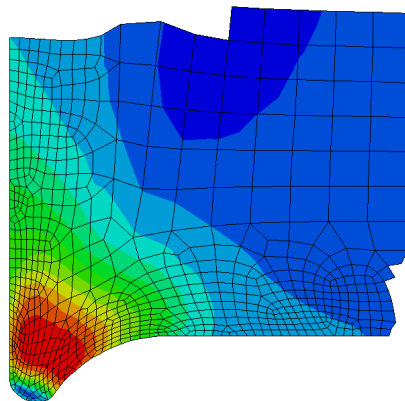
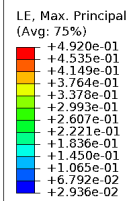
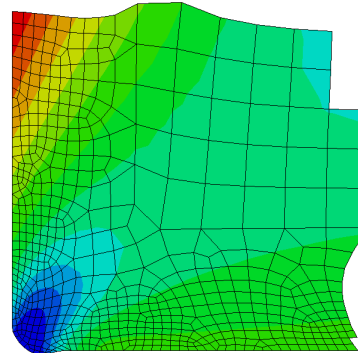
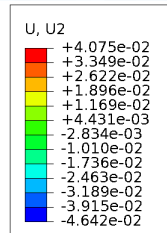
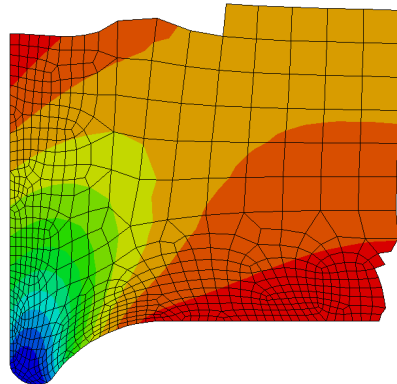
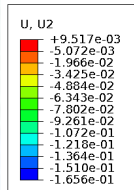
## 2.- Técnicas de diseño por exploración

- Aproximación de optimización: explora el espacio de diseño en busca de un nuevo diseño que mejore el comportamiento del actual
  - Utiliza la aproximación generada y comienza con mejor diseño obtenido en el DoE
  - Se aplica una técnica basada en gradientes: NLPQL-Sequential Quadratic Programming
  - Se definen variables, restricciones y función objetivo

<b>VARIABLES</b>				
	Lower Bound	Initial Value	Upper Bound	Notes
Seal Groove Radius ( $R$ )	0.1	0.1	0.5	
External cylinder housing Radius ( $R_{cyl}$ )	11.91	11.91	12	
Friction Model Scaling $A_{seal-mc}$	1	2	5	$A_{seal-mc} = A_{seal-plunger}$ (Calculator Component)
Mooney-Rivlin Material Constant $C_{10}$	0.330	0.523	0.523	$C_{10} = 4 * C_{01}$ (Calculator 2 Component)
<b>CONSTRAINTS</b>				
	Lower Bound	Upper Bound	Target	Notes
LE-Mises Max		0.85		
<b>OBJECTIVE</b>				
	Direction	Target	Notes	
Value of displacement at nibbling zone	Maximize		$U_2$ has negative sign. The objective function is defined as the minimum value of all analysed nodes (Calculator 1 Component)	

## 2.- Técnicas de diseño por exploración

- Aproximación de optimización
  - Análisis de resultados



Diseño inicial

Diseño óptimo

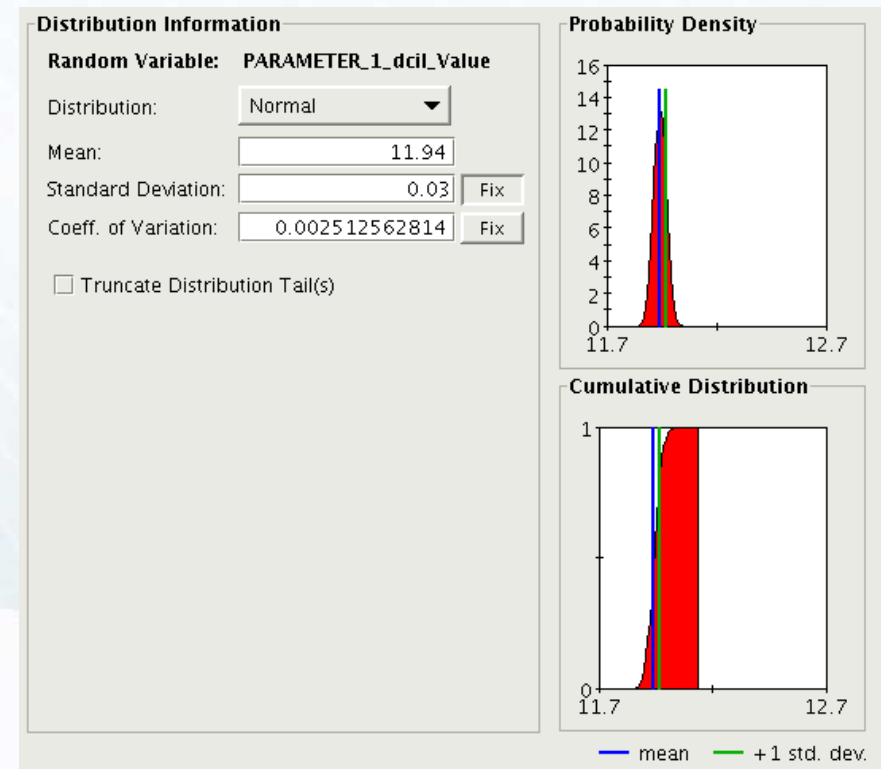
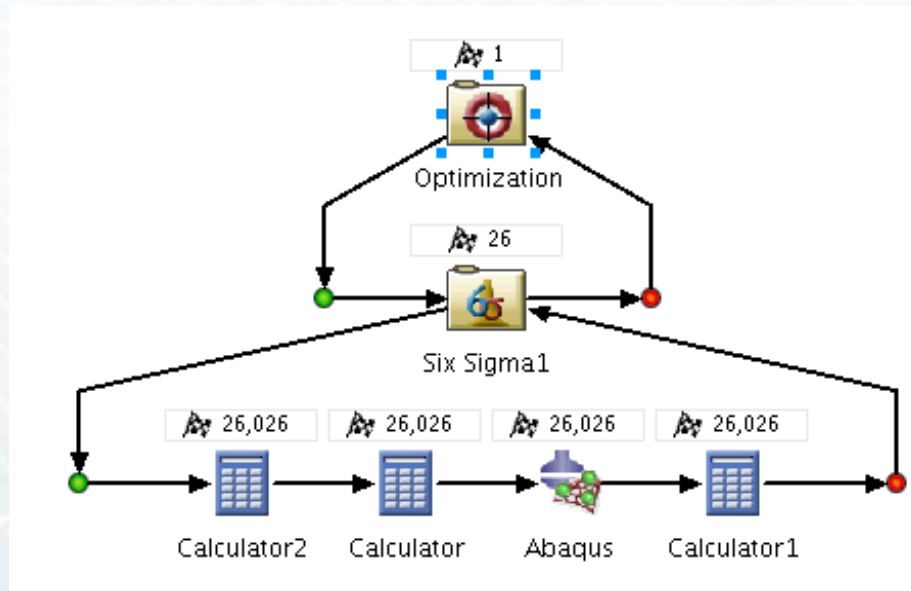
- Los desplazamientos en la zona analizada se reducen en torno a un 70%
- En términos de deformación máxima principal se observa una reducción del 25%



## 3.- Diseño robusto (DFSS)

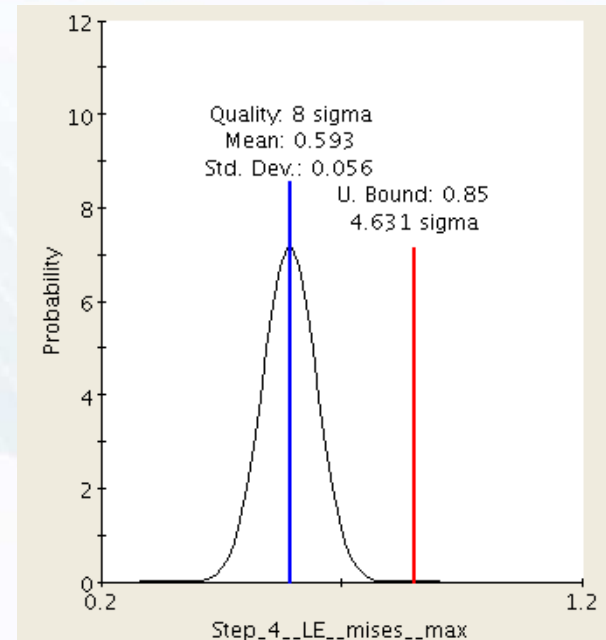
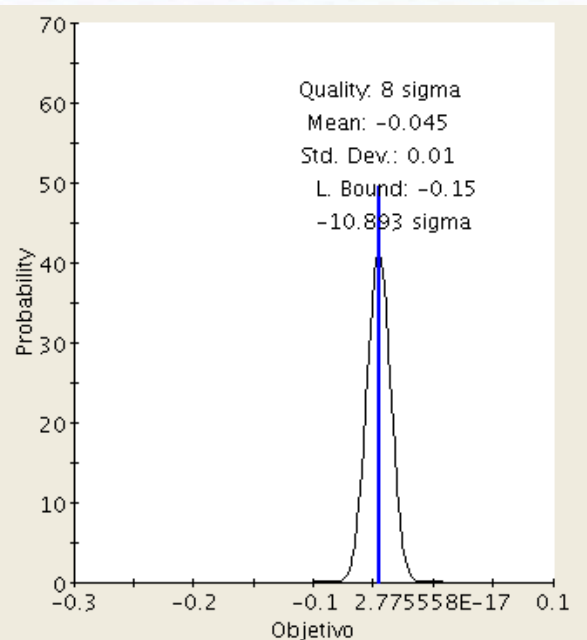
**Objetivo:** Caracterizar la robustez y fiabilidad del diseño

- La técnica utilizada para estimar la variabilidad en el análisis es la simulación de Monte Carlo, que define la población mediante técnicas de muestreo descriptivo
- Variables de diseño consideradas aleatorias: R y Rcil



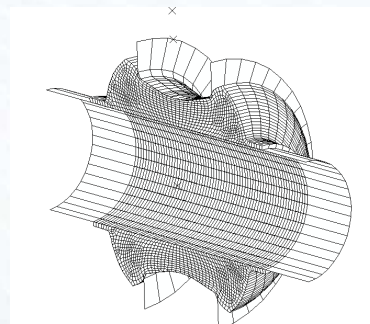
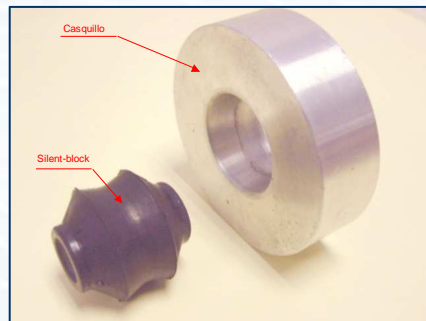
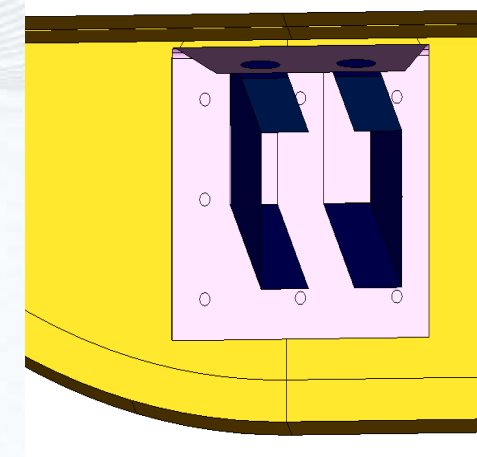
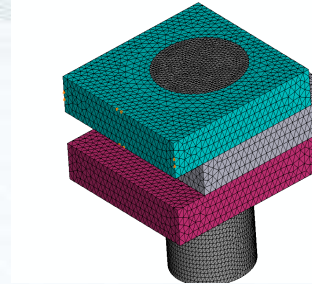
## 3.- Diseño robusto (DFSS)

- Limitaciones en las respuestas:
  - Límite inferior de  $-0.15$  mm para los máximos desplazamientos en la zona de extrusión
  - Límite superior de  $0.85$  para las deformaciones equivalentes
- Análisis de resultados: El diseño óptimo es un diseño robusto. Se ha demostrado que dada una variabilidad de los parámetros geométricos de diseño, definidas como variaciones en torno a un valor medio, la solución conduce a bajos niveles de variación de la respuesta.



- Se ha desarrollado con éxito una metodología de optimización para el diseño mecánico y tribológico de juntas de goma utilizando herramientas numéricas comerciales integradas en Isight
- La exploración del espacio de diseño aumenta el conocimiento sobre el comportamiento del producto y las interacciones entre los parámetros variables
- La aplicación de técnicas DFSS permite la caracterización de diseños óptimos en términos de fiabilidad y robustez
- Se pueden utilizar diferentes aproximaciones en cada uno de los pasos definidos en la metodología. La mejor elección es función de las características del modelo y del tiempo computacional requerido para resolverlo

- Análisis de uniones en chasis de camión: Remaches
  - Tipo de remache
  - Número
  - Disposición



- Optimización del comportamiento dinámico en elementos elásticos modificando las propiedades del material

- Optimización de parámetros de modelos micromecánicos

