

# INFORME

# SIMULAB 2023

**NOMBRE DEL PROYECTO COMPLETO**  
**“SIMULAB”**

**Entregable: INFORME DE RESULTADOS**

**Número de proyecto: 22300015**

**Expediente: IMAMCA/2023/2**

**Duración: Del 01/01/2023 al 31/12/2023**

**Coordinado en AIDIMME por: JOSÉ EMILIO NUÉVALOS**

**AIDIMME**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO



GENERALITAT  
VALENCIANA

**iVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
GEOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA

**AIDIMME**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO



## Índice

1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. OBJETIVOS.....	3
3. PROCEDIMIENTO .....	4
3.1 DATOS DE PARTIDA.....	5
3.2 METODOLOGÍA DE ENSAYO.....	7
3.3 SIMULACIÓN DIGITAL.....	12
4. RESULTADOS .....	13
4.1 SILLA WALL STREET .....	13
4.2 SILLA METÁLICA .....	19
4.3 LÁMPARA METÁLICA PORTÁTIL.....	24
4.4 PLATAFORMA SIMULAB .....	26
5. CONCLUSIONES.....	28

## 1. Introducción

El proyecto SIMULAB se origina para reducir los posibles errores de diseño funcionales y los tiempos de salida al mercado de productos del sector del mueble cuando están todavía en una etapa de diseño.

Para ubicar temporalmente el SIMULAB en las fases de desarrollo de producto se ilustra con las distintas fases de nivel de madurez tecnológica (TRL).



La etapa TRL 05 es donde se introduce el SIMULAB, antes de la fabricaci3n de un prototipo f3sico, ya que esta es la 3ltima fase que permite cambios f3ciles y r3pidos sobre el producto a desarrollar.

SIMULAB otorga al dise3ador una plataforma donde simular digitalmente mobiliario que todav3a no existe y por lo tanto anticipar cambios de dise3o. Actualmente la forma de proceder es la fabricaci3n de un prototipo real (TRL 06) y ensayarlo en un laboratorio, este proceso requiere de un tiempo considerable. Si el dise3o no cumpliera con las normativas habr3a que retroceder a la etapa TRL 05 y llevar a cabo el redise3o y fabricaci3n de un nuevo prototipo para ensayo y as3 sucesivamente.

La plataforma deber3 recoger en una base de datos las condiciones de los ensayos especificados en la norma, para as3 poder validar si el ensayo ha sido satisfactorio o no. El usuario proporcionar3 a la plataforma el dise3o tridimensional del producto (documento CAD), la norma que quiere ensayar, la tipolog3a de mueble con sus caracter3sticas constructivas y este recibir3 un feedback con los resultados del ensayo.

Para comprobar la fiabilidad de la plataforma es necesario comparar la correlaci3n de los resultados entre los ensayos digitales y los reales. Por lo que se llevar3 a cabo una prueba experimental en el laboratorio sobre **dos asientos y una luminaria** que se hayan simulado digitalmente y se analizar3n estos resultados.

## 2. Objetivos

El objetivo de este proyecto es la creación de una plataforma digital de acceso para diseñadores en la que se puedan simular a partir de documentos CAD el comportamiento del mueble a evaluar frente ensayos recogidos en la norma. Este proyecto es una primera toma de contacto con la digitalización de los ensayos y se busca comparar los resultados de ensayos reales en laboratorio y los resultados de una simulación digital, para así comprobar la fiabilidad de esta nueva metodología. Para este proyecto se ensayarán dos sillas y una luminaria en base a la norma UNE-EN, si los resultados fuesen satisfactorios, la plataforma digital se podría ir nutriendo de más ensayos y abarcar más productos.

### 3. Procedimiento

Para el ensayo del mobiliario, se ha de tener en cuenta la norma que aplica a este, dependiendo de factores como tipo de mueble y uso al que será sometido, en este caso de estudio, dos asientos y una luminaria. Una vez determinadas las normas, se filtrará que ensayos de la norma aplican al mueble, dependiendo de sus características constructivas dentro del tipo de mueble, si tiene respaldo, reposabrazos etc.

**La muestra correspondiente a la luminaria** se trata de una lámpara portátil, se realizará un único ensayo de estabilidad siguiendo el procedimiento de la norma:

- *UNE-EN 60598-2-4:2019: Luminarias. Parte 2: Requisitos particulares. Sección 4: Luminarias portátiles de uso general. **Apartado 4.7.3***

En **las dos muestras correspondientes las sillas** se aplica la misma norma en todas ellas ya que pertenecen a asientos de uso no doméstico (uso público). Las muestras se ensayarán para su venta en el mercado europeo por lo que aplica la normativa UNE-EN.

Para asientos de uso no doméstico se aplican los ensayos de las siguientes normas:

- *UNE-EN 16139:2013 VC 2015: Mobiliario. Resistencia, durabilidad y seguridad. Requisitos para asientos de uso no doméstico.*
- *UNE-EN 1022:2019: Mobiliario. Asientos. Determinación de la estabilidad.*

Para la realización de la norma *UNE-EN 16139:2013 VC 2015*, es necesario referenciarse a otra norma de método, que corresponde a:

- *UNE-EN 1728:2013 VC 2022: Mobiliario. Asientos. Método de ensayo para la determinación de la resistencia y la durabilidad.*

En las normas se incluye una batería de ensayos de la cual es necesario filtrar las aplicables a las muestras de estudio según las características constructivas de esta. Según la norma '*UNE-EN 16139:2013 VC 2015*', a los ensayos se les puede aplicar dos niveles de fuerza dependiendo del lugar donde vayan destinados:

Nivel	Tipo de uso	Descripción
L1	Uso general	<p>Zonas en las que el asiento está destinado generalmente a un uso mixto (desde un corto periodo de tiempo a varias horas, con cargas de ligeras a pesadas).</p> <p><u>Ejemplos de uso final:</u> Todo tipo de edificios de oficinas, salas de exposición, vestíbulos públicos, salones de actos, cafeterías, restaurantes, bancos, bares.</p>
L2	Uso severo	<p>Zonas en las que el asiento está sometido, ocasionalmente o de forma habitual, a cargas extremadamente altas debido a su uso específico o a un mal uso.</p> <p><u>Ejemplos de uso final:</u> clubs nocturnos, comisarías, terminales de transporte, vestuarios deportivos, cárceles, cuarteles (zonas no controladas)</p>

### 3.1 Datos de partida

Las muestras para analizar en SIMULAB son las siguientes:



Muestra 1: Silla Wall Street



Muestra 2: Silla metálica



Muestra 3: Lámpara portátil

Las características constructivas de estas son:

- La muestra 1 consiste en una silla con reposabrazos conformada por una única pieza de polipropileno. Referencia 2305118-02.
- La muestra 2 es una silla sin reposabrazos, de tubo y chapa de acero, unida por soldadura. Referencia 2309162-01.
- La muestra 3 corresponde a una lámpara de interior LED con estructura y base metálica, la posición del foco es ajustable.

Los principales tipos de ensayo a aplicar sobre asientos son: fatiga (muchos ciclos a baja carga), resistencia (pocos ciclos a alta carga) y estabilidad (ver si se produce el vuelco). Para este proyecto se han tenido en cuenta las limitaciones actuales con los programas de diseño por ordenador se ha optado por obviar los ensayos de fatiga de este estudio. Debido a la naturaleza teórica de los cálculos del programa de simulación, para el caso de resistencia únicamente se comprobarán a un solo ciclo, en vez de los diez que indica la norma.

Para la estabilidad, en el método experimental se hacen 3 medidas a las que se produce el vuelco y luego una media aritmética. En la simulación digital sucede lo mismo que en el de resistencia por lo que se obtendrá una sola medida.

Repasando las normativas se aplicarán los siguientes ensayos de carga estática y de estabilidad, enumeradas a continuación:

**Muestra 1: Silla Wall Street.**

UNE-EN 16139:2013 VC 2015 y UNE-EN 1728:2013 VC 2022

- 6.4 Carga estática en el asiento y en el respaldo
- 6.10 Carga estática lateral en los brazos
- 6.11 Carga estática hacia abajo en los brazos
- 6.15 Carga estática hacia delante de las patas
- 6.16 Carga estática lateral sobre las patas

UNE-EN 1022:2019

- 7.3.1 Vuelco delantero
- 7.3.5 Vuelco lateral para asiento con brazos
- 7.3.6 Vuelco trasero

**Muestra 2: Silla metálica.**

UNE-EN 16139:2013 VC 2015 y UNE-EN 1728:2013 VC 2022

- 6.4 Carga estática en el asiento y en el respaldo
- 6.15 Carga estática hacia delante de las patas
- 6.16 Carga estática lateral sobre las patas

UNE-EN 1022:2019

- 7.3.1 Vuelco delantero
- 7.3.6 Vuelco trasero

**Muestra 3: Lámpara portátil.**

UNE-EN 60598-2-4:2019

- 4.7.3. Ensayo de estabilidad

### 3.2 Metodología de ensayo

A continuación, se describe la metodología de ensayo de la luminaria y de las sillas.

En el **ensayo de la luminaria**, la conformidad se verifica colocando las luminarias en la situación de ajuste más desfavorable de uso normal, sobre un plano inclinado con un ángulo de:

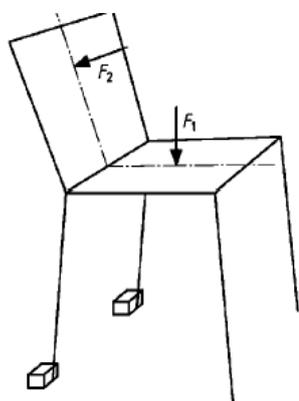
- 6º con respecto a la horizontal para luminarias para uso interior.
- 15º con respecto a la horizontal para luminarias para uso exterior.

En el caso de los **ensayos de los asientos**, se resume el procedimiento para los ensayos citados en las siguientes tablas.

#### Ensayos de carga estática:

*\*Nota: Los útiles empleados en ensayos de carga estática están descritos en la norma UNE-EN 1728:2013 VC 2022.*

#### Ensayo 6.4: Carga estática sobre el asiento y el respaldo



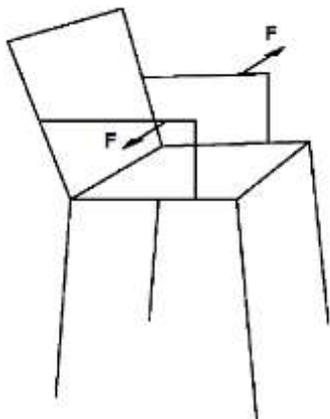
Colocar topes 5.3 detrás de las patas, para evitar su desplazamiento. Determinar los puntos de aplicación de fuerza mediante la plantilla 5.1.

Aplicar mediante el útil 5.4 la fuerza vertical sobre el asiento en sentido descendente. Manteniendo la fuerza sobre el asiento, aplicar la fuerza al respaldo con el útil 5.6.

La dirección de la fuerza aplicada debe formar un ángulo de  $90 \pm 10^\circ$  respecto al plano del respaldo. Si el asiento tiene tendencia al vuelco se reduce la fuerza sobre el respaldo hasta el valor necesario para que no vuelque. La fuerza no debe reducirse por debajo de la fuerza mínima especificada (410 N), si es necesario, incrementar la fuerza sobre el asiento para evitar el vuelco.

	L1	L2
FUERZA ASIENTO (N)	1600	2000
FUERZA RESPALDO (N)	560	700
Número de ciclos = 10		
Tiempo de aplicación = 10 segundos		

**Ensayo 6.10: Carga estática lateral sobre el reposabrazos**



Colocar asiento sin topes, mediante el útil de carga local 5.7 se aplica la fuerza hacia fuera, sobre cada uno de los brazos de forma simultánea, en el punto que se considere más desfavorable, pero no a menos de 100 mm de cualquiera de los extremos de la estructura de los brazos.

	L1	L2
FUERZA BRAZOS (N)	400	900
Número de ciclos = 10		
Tiempo de aplicación = 10 segundos		

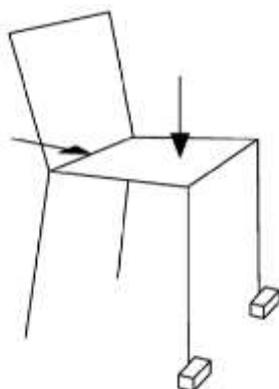
**Ensayo 6.11: Carga estática vertical sobre el reposabrazos**



En asientos con dos brazos, que estén a una distancia entre centro menor de 1000 mm, aplicar la fuerza simultáneamente en ambos brazos, en los puntos más desfavorables, pero no a menos de 100 mm de cualquier extremo de la estructura del brazo. Para la aplicación de fuerzas emplear el útil 5.5 o 5.7

	L1	L2
FUERZA BRAZOS (N)	750	900
Número de ciclos = 10		
Tiempo de aplicación = 10 segundos		

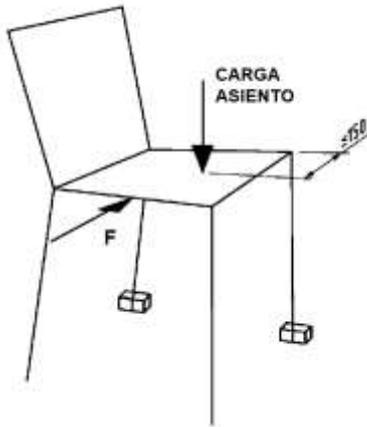
**Ensayo 6.15: Carga estática sobre las patas delanteras**



Colocar topes 5.3 en las patas delanteras. Aplicar la carga del asiento en el punto determinado por la plantilla 5.1. Aplicar mediante el útil 5.7 la fuerza a la altura del asiento y en el centro de la parte posterior. Si tiene tendencia al vuelco se reduce la fuerza hasta evitar el vuelco, se comprueba que esta fuerza está dentro del mínimo especificado.

	L1	L2
FUERZA (N)	500	620
FUERZA MINIMA (N)	150	200
CARGA ASIENTO (N)	1000	1800
Número de ciclos = 10		
Tiempo de aplicación = 10 segundos		

### Ensayo 6.16: Carga estática sobre las patas laterales



Colocar topes 5.3 en una pata delantera y una trasera y cargar el asiento con la fuerza especificada en la tabla, no a más de 150 mm del borde sin carga del asiento.

Aplicar mediante el útil 5.7 según la tabla a la altura del asiento, en el centro del lateral no inmovilizado del asiento, en dirección a las patas inmovilizadas. Si tiene tendencia al vuelco se reduce la fuerza hasta evitar el vuelco, se comprueba que esta fuerza está dentro del mínimo especificado.

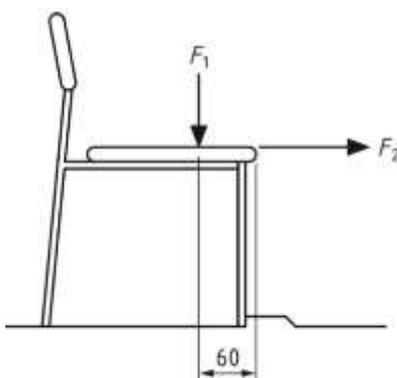
	L1	L2
FUERZA (N)	400	760
FUERZA MÍNIMA (N)	150	200
CARGA ASIENTO (N)	1000	1800
Número de ciclos = 10		
Tiempo de aplicación = 10 segundos		

Se ha de comprobar después de cada ensayo de carga estática que no se produce ninguna rotura, deformación importante o aflojamiento de uniones como condiciones para el aprobado del ensayo. El producto debe cumplir perfectamente con su cometido después de ser testado.

### Ensayos de estabilidad:

*\*Nota: Los útiles empleados en ensayos de estabilidad están descritos en la norma UNE-EN 1022:2019.*

### Ensayo 7.3.1: Vuelco delantero



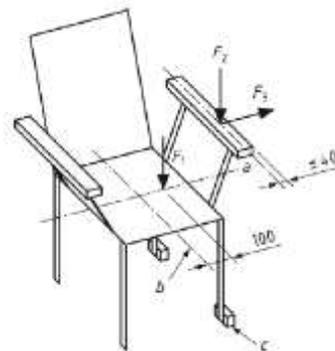
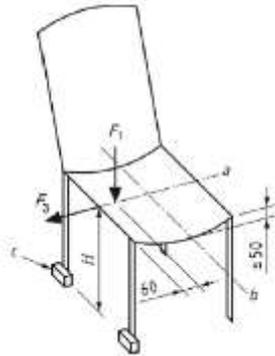
Situar el asiento con dos puntos de apoyo delanteros de la base contra los topes (no deben impedir el vuelco).

Aplicar la fuerza vertical  $F_1$  (600 N) mediante el útil 5.5 y 5.6, en el eje central del asiento, a 60 mm del borde delantero de la estructura portante.

Aplicar la fuerza horizontal  $F_2$  (20 N) durante  $(5 \pm 2)$  segundos, hacia el exterior, a lo largo de una línea horizontal que se prolonga hacia delante partiendo del punto de contacto entre el útil de carga y la superficie superior del asiento.

Comprobar la  $F_2$  necesaria para el vuelco, esta debe ser mayor de 20 N.

### Ensayo 7.3.4 y 7.3.5: Vuelco lateral



Para este ensayo, dependiendo de si tiene reposabrazos (7.3.5) o no (7.3.4) el asiento, se plantea de una forma u otra el ensaño. La  $F_1$  se puede aplicar con el útil 5.5 u otro que no obstaculice el posible vuelco de la silla.

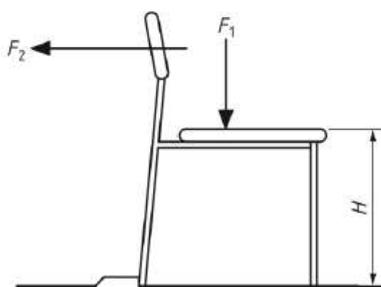
Aplicar  $F_1$  (250 N) según se especifica en la imagen.

Para asientos con reposabrazos; aplicar  $F_2$  (350 N), en un punto sobre el eje central del brazo situado a 40 mm como máximo, del borde exterior de la estructura del brazo en la intersección entre el brazo y el plano transversal, pero a 40 mm como mínimo del borde delantero o trasero de la estructura del brazo.

Aplicar una fuerza horizontal  $F_3$  (20 N), hacia el exterior, que se mantiene durante, al menos 5s, perpendicular a la línea que une las patas bloqueadas

Comprobar la  $F_3$  necesaria para el vuelco, esta debe ser mayor de 20 N.

### Ensayo 7.3.6: Vuelco trasero para todo tipo de asientos con respaldo



Situar el asiento con dos puntos de apoyo traseros adyacentes o la base contra los topes.

Determinar el punto A y B mediante la plantilla para puntos de carga 5.2

Se aplica al asiento  $F_1$  (600 N), mediante el útil de carga, en el punto de carga del asiento (A)

Se aplica al respaldo  $F_2$  hacia atrás, en el punto de carga del respaldo, B, o en el borde superior del respaldo, eligiendo el que sea más bajo.

Dependiendo de la altura del asiento, la  $F_2$  variará:

$(H \geq 720 \text{ mm}) \rightarrow F_2 = 80 \text{ N}$

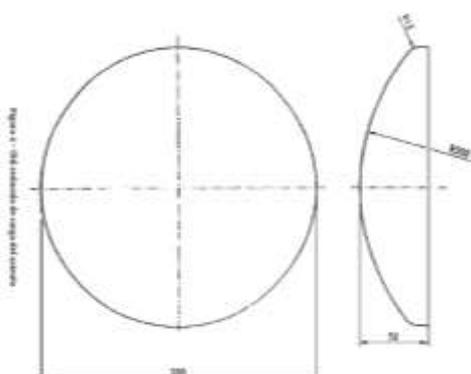
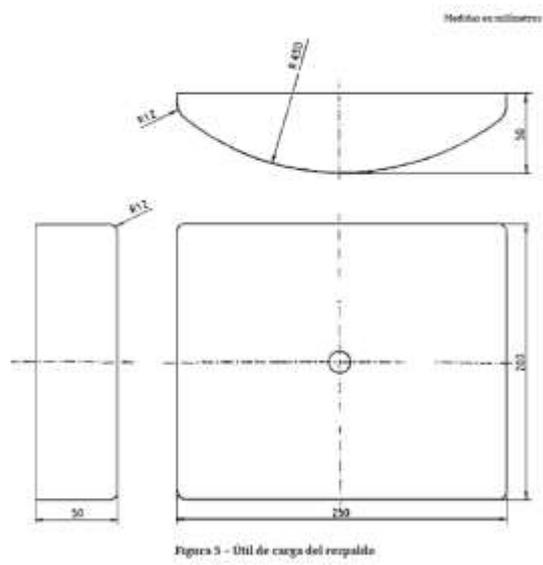
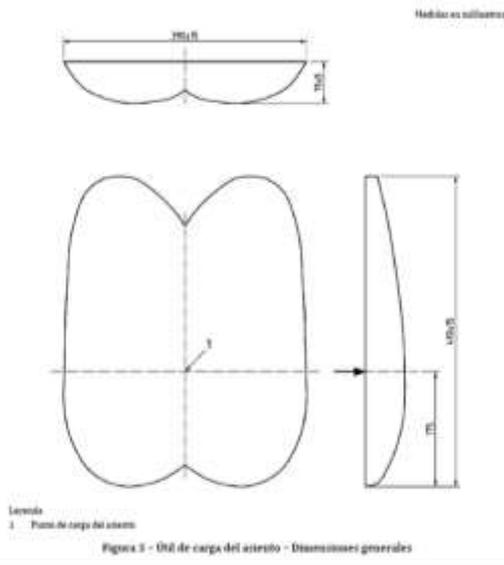
$(H \leq 720 \text{ mm}) \rightarrow F_2 = 0,2857 (1000 - H)$

Comprobar la  $F_2$  necesaria para el vuelco, esta debe ser mayor que la obtenida en la ecuación anterior.

Los puntos de carga del asiento mencionados en la metodología de los ensayos se obtienen con la plantilla 5.1, acotada según la normativa:



Las imágenes de abajo muestran la morfología de los útiles 5.4 (izquierda), 5.6 (derecha) y 5.5 (inferior):



### 3.3 Simulación digital

Para realizar los distintos cálculos se ha utilizado el método de los elementos finitos. Es necesario que el fabricante suministre el modelo CAD 3D para llevar a cabo la simulación.

Para discretizar las diferentes partes de la potencia, se han utilizado elementos 3D de alto orden del tipo tetraedro parabólico, los cuales nos permitirán obtener una distribución de tensiones detallada a lo largo de los elementos. Para el estudio de los elementos comentados se ha utilizado el software ANSYS v23 R1.

Las hipótesis de cálculo son las siguientes:

- Se ha utilizado un análisis lineal, es decir, comportamiento del material lineal y elástico, condiciones de contorno lineales y pequeños desplazamientos.
- Análisis de tensiones estático.
- Comportamiento del material isótropo y homogéneo.
- Propiedades del acero: tensión límite elástico  $S_L = 250$  MPa; tensión límite de rotura  $S_R = 460$  MPa.
- Propiedades del polipropileno: tensión límite de rotura  $S_R = 90$  MPa.

Para los diferentes elementos de la potencia el objetivo del análisis será determinar las tensiones y desplazamientos en nodos y elementos. De este modo se podrá comprobar la distribución de tensiones (criterio de fallo de Von Mises) y si en algún punto se superan las tensiones límite características de cada material (la tensión de límite elástico y de rotura) para determinar la validez del diseño.

El fallo está previsto que ocurra cuando:  $\sigma_{\text{VON MISES}} \geq \sigma_{\text{LIMITE}}$

Factor de seguridad:  $\sigma_{\text{LIMITE}} / \sigma_{\text{VON MISES}}$

## 4. Resultados

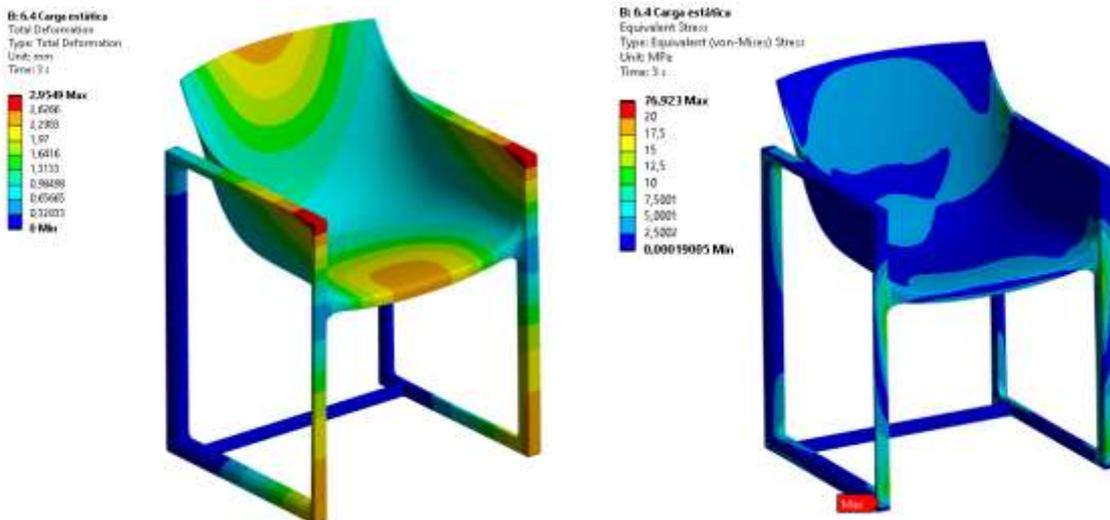
Siguiendo la metodología explicada en el apartado anterior, los asientos se ensayan para el nivel L1 y L2 de forma experimental y L2 digitalmente. Este apartado muestra los resultados obtenidos en cada muestra, primero mediante el programa de simulación ANSYS y, por otro lado, los ensayos experimentales realizados en el laboratorio. Posteriormente se realiza un análisis y comparación de los valores obtenidos.

### 4.1 Silla Wall Street

Resultados de los ensayos de la silla Wall Street, referencia **2305118-02**:

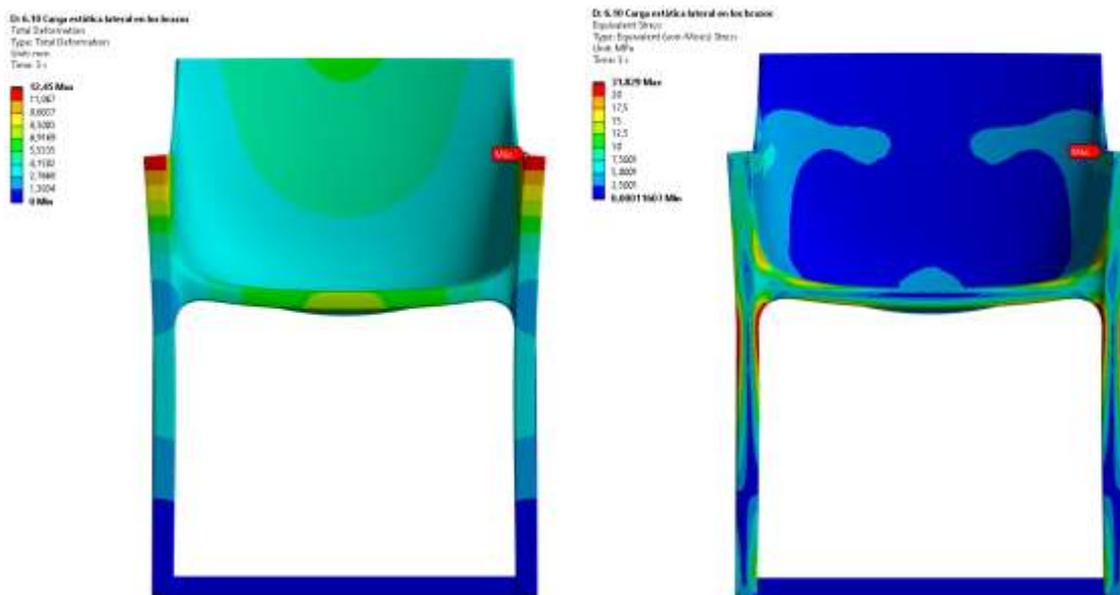
#### Simulación digital:

Ensayo 6.4: Carga estática sobre asiento y respaldo.



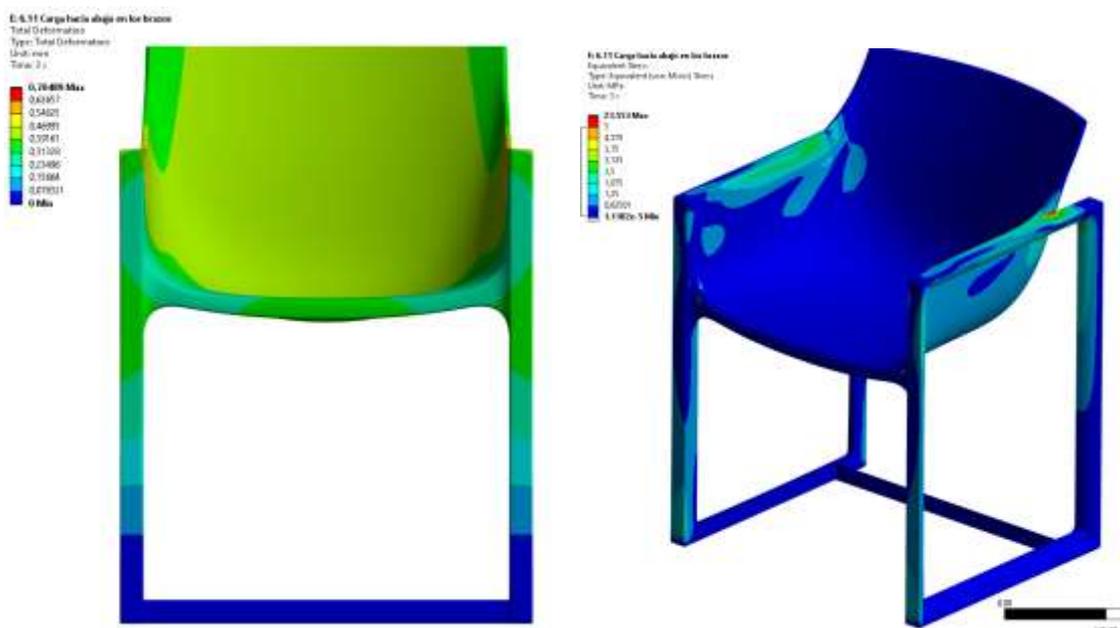
	Tensión (MPa)	Deformación (mm)
Punto máx. tensión	76,92	2,29

Ensayo 6.10: Carga estática lateral en los brazos.



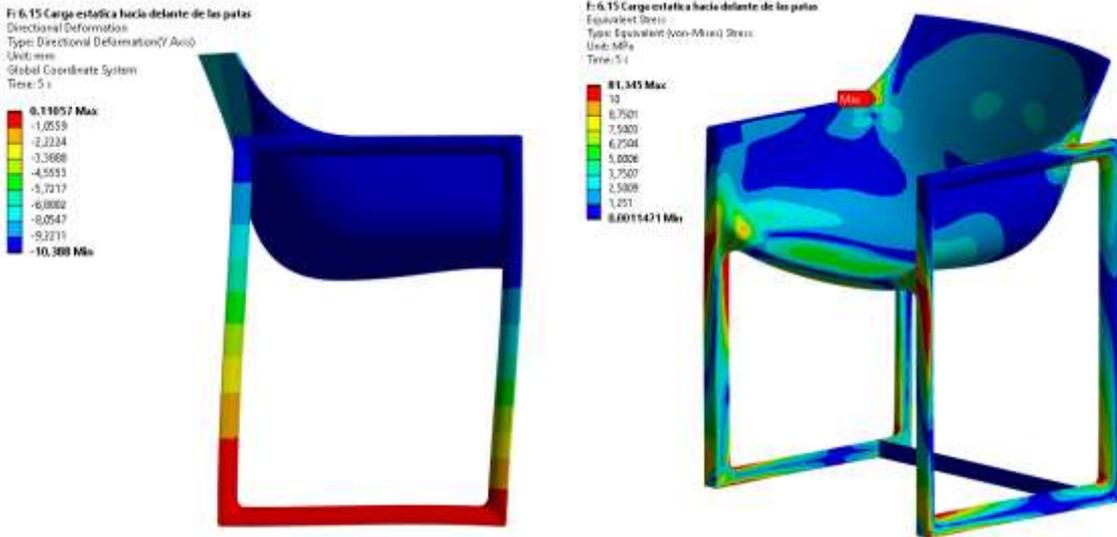
	Tensión (MPa)	Deformación (mm)
Punto máx. tensión	31,83	12,45

Ensayo 6.11: Carga estática hacia abajo en los brazos.



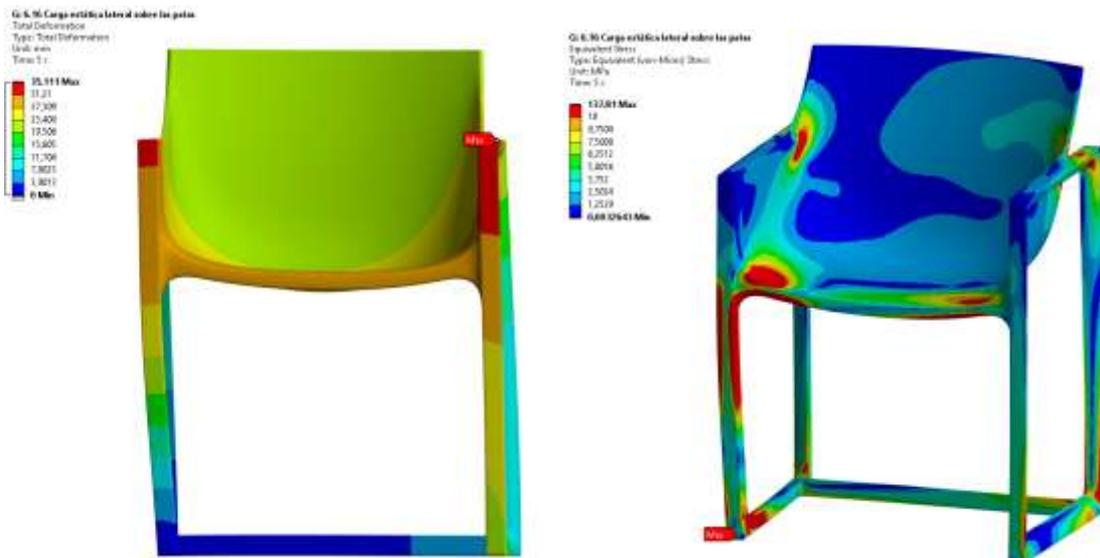
	Tensión (MPa)	Deformación (mm)
Punto máx. tensión	23,55	0,7

Ensayo 6.15: Carga estática hacia delante de las patas.



	Tensión (MPa)	Deformación en Y (mm)
Punto máx. tensión	81,34	0,11

Ensayo 6.16: Carga estática lateral sobre las patas.



	Tensión (MPa)	Deformación en Y (mm)
Punto máx. tensión	137,81	3,9

Ensayo 7.3.1: Estabilidad delantera.

Se simula una carga gradual horizontal, hasta que la reacción en el eje de coordenadas "Z" sea negativa (se produce el vuelco).

Force Reaction 2



Steps	Time [s]	X [N]	Y [N]	Z [N]	Force Reaction 2 (Z) [N]
1	1	0,	0,	= 0,	92,865
2	1	1,	0,	0,	138,61
3	2	2,	= 0,	= 0,	46,852
4	3	3,	= 0,	-95,	42,022
5	4	4,	= 0,	-100,	37,193
6	5	5,	= 0,	-105,	32,363
7	6	6,	= 0,	-110,	27,534
8	7	7,	= 0,	-115,	22,704
9	8	8,	= 0,	-120,	17,874
10	9	9,	= 0,	-125,	12,044
11	10	10,	= 0,	-145,	-1,444
*					

Se produce el vuelco **sobre 140 N.**

Ensayo 7.3.5: Estabilidad lateral asiento con brazos.

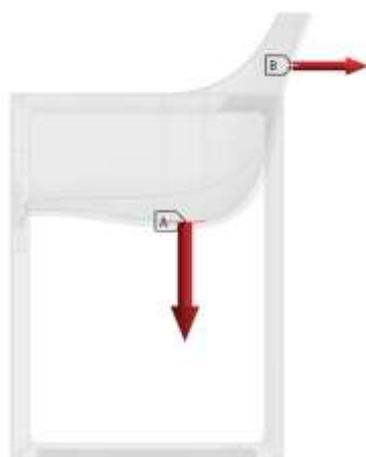
Force A: 350, N  
Force B: 20, N



Steps	Time [s]	X [N]	Force Reaction 2 (Z) [N]
1	1	0,	120,14
2	1	1,	101,07
3	2	20,	81,999
4	3	40,	43,856
5	4	80,	24,784
6	5	100,	5,7124
7	6	120,	-1,444
*			

Se produce el vuelco **a partir de 120 N.**

Ensayo 7.3.6: Estabilidad trasera.



Steps	Time [s]	X [N]	Y [N]	Force Reaction 2 (Z) [N]
1	0.	= 0.	0.	98,331
1	1.	0.	0.	161,03
2	2.	= 0.	0.	161,03
3	3.	= 0.	0.	84,398
4	4.	= 0.	100.	65,239
5	5.	= 0.	125.	46,081
6	6.	= 0.	150.	26,923
7	7.	= 0.	175.	7,7643
8	8.	= 0.	200.	-11,394
9	9.	= 0.	225.	-30,553
10	10.	= 0.	250.	

Se produce el vuelco entre 200 y 225 N.

**Ensayos experimentales realizados en el laboratorio:**

Ensayos de carga estática:

Ensayo	L1	L2
6.4	OK	OK
6.10	OK	OK
6.11	OK	OK
6.15	OK	OK
6.16	OK	NOK

La silla cumple con todos los ensayos de carga estática a excepción del nivel L2 de la carga estática lateral sobre las patas: la silla tiende al vuelco a los 757N y se empieza a deformar.

Ensayos de estabilidad:

Ensayo	Resultado	Fuerza para vuelco (N)
7.3.1	OK	103
7.3.5	OK	121,3
7.3.6	OK	203,6

La estabilidad es correcta también, se obtuvo a partir de la media aritmética de 3 medidas. Los requisitos para el ensayo 7.3.1 y 7.3.5 es que la fuerza para el vuelco sea mayor que 20 N, para el ensayo 7.3.6, la fuerza debe ser mayor que 162 N.

## Análisis comparativo de los resultados:

### Carga estática:

CARGA ESTÁTICA SILLA WALL STREET NIVEL L2			
Ensayo	Laboratorio	Simulación	
		Valor (MPa)	Factor seg.
6.4	OK	76,9	1,17
6.10	OK	31,8	2,83
6.11	OK	23,6	3,81
6.15	OK	81,3	1,11
6.16	NOK	137,8	0,65

El límite de rotura del polipropileno depende de su composición y aditivos, **el valor estimado es de 90 MPa**. Con este valor, y analizando el gradiente de tensiones capturado en la simulación digital, se puede comprobar que la silla resiste todos los ensayos menos el 6.16, donde se llega al límite de rotura del material y se produce, por tanto, rotura o deformación plástica excesiva.

Al realizar los ensayos experimentales en el laboratorio el criterio de si es correcto o no es visual y lo determina el operario comprobando que no ha habido perdida en la funcionalidad del asiento y deformaciones significativas. El único ensayo que no cumple, ya que la silla empieza a fallar antes del valor requerido por la norma, es el ensayo sobre las patas con carga lateral (6.16).

Tanto en el ensayo experimental como la simulación, se obtiene que el ensayo 6.16 es el más crítico y también donde se produce el fallo. Se puede afirmar que hay una alta correlación entre la simulación y la realidad en el caso de la carga estática de esta muestra.

### Estabilidad:

ESTABILIDAD SILLA WALL STREET			
Ensayo	Laboratorio (N)	Simulación (N)	Requisito (N)
7.3.1	101,3 N	135 – 145	20
7.3.5	105,9 N	120 – 130	20
7.3.6	214,9 N	200 – 225	162

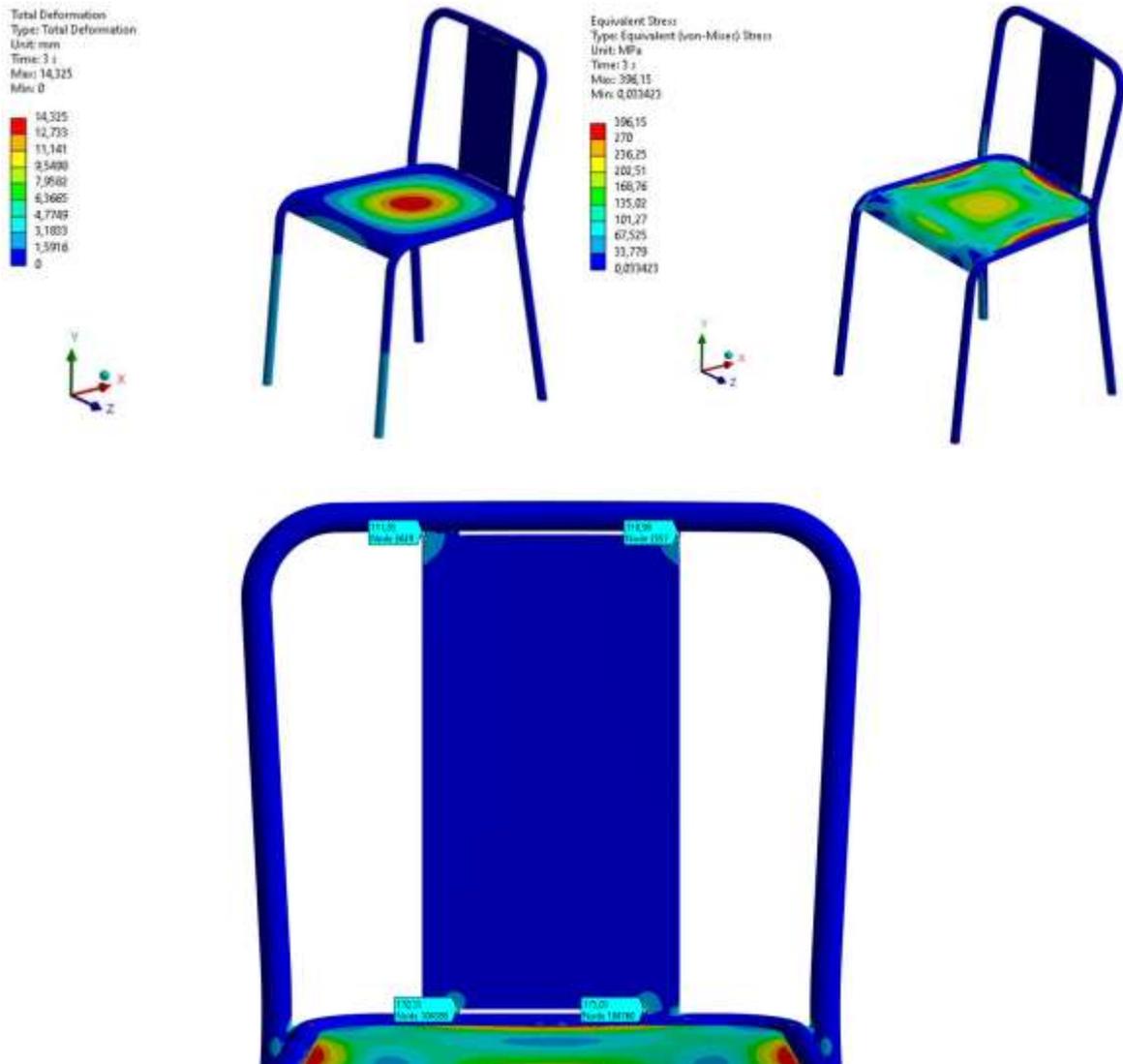
Los requisitos de estabilidad se superan en todos los ensayos. Sin embargo, en los ensayos 7.3.1 y 7.3.5 los valores obtenidos en el laboratorio quedan lejos del intervalo hallado durante la simulación, para el 7.3.1 el valor de laboratorio es un 25% inferior al rango inferior de la simulación y en el caso del 7.3.5 un 11,75%. El valor de laboratorio del ensayo 7.3.6 sí que está dentro del intervalo obtenido en la simulación.

## 4.2 Silla metálica

Resultados de los ensayos de la silla metálica, referencia **2309162-01**:

### Simulación digital:

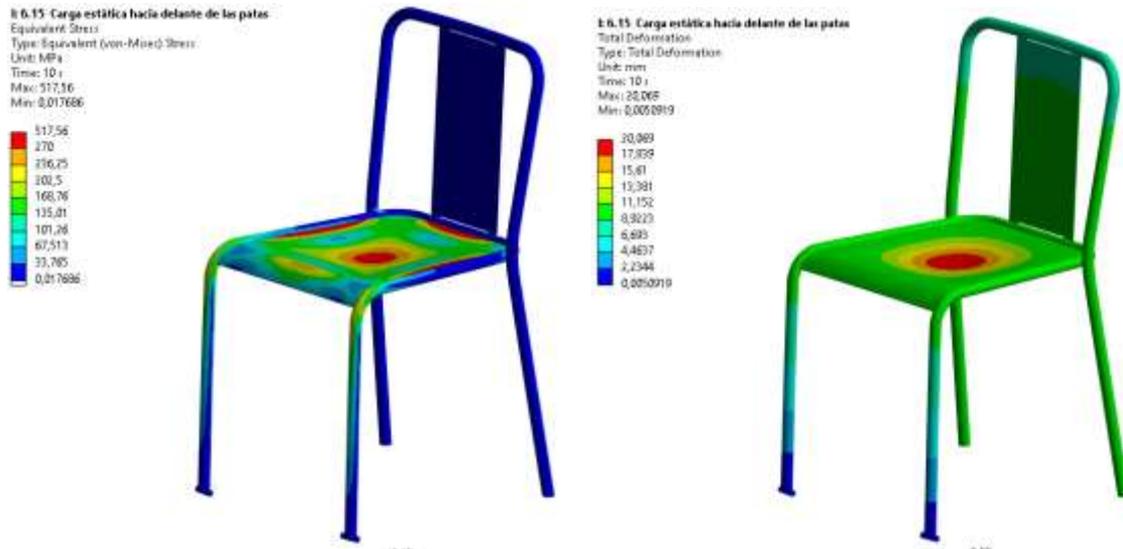
Ensayo 6.4: Carga estática sobre asiento y respaldo.



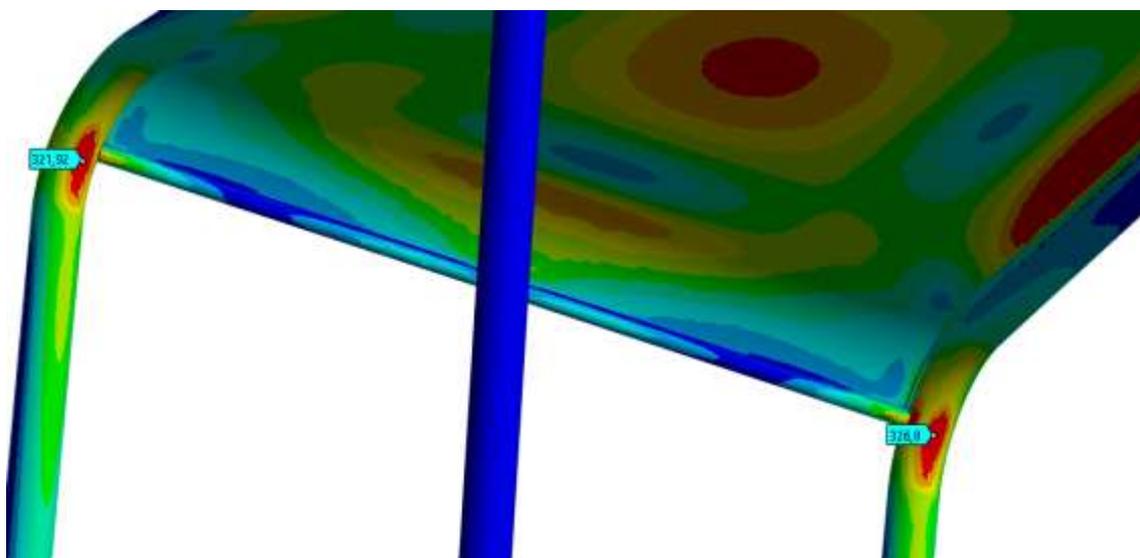
El punto de máxima tensión está en los bordes de la unión del asiento con la estructura de tubo:

	Tensión (MPa)	Deformación en Y (mm)
Punto máx. tensión	173	3,1

Ensayo 6.15: Carga estática hacia delante de las patas.



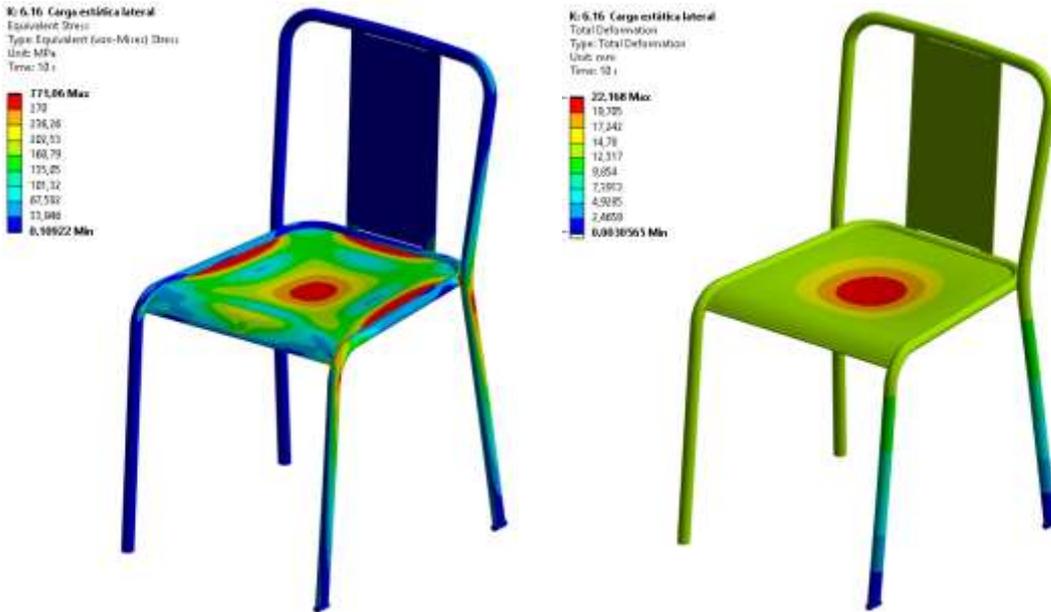
Vista parte interior del tubo:



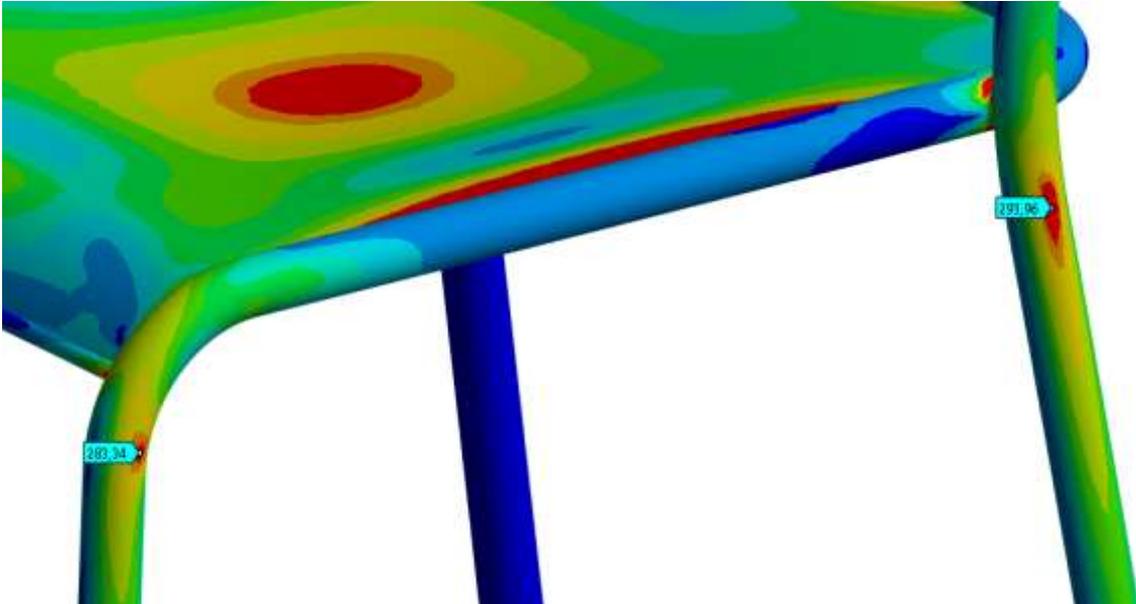
El punto de máxima tensión esta en la curva de las patas delanteras, que se encuentran con restricción de movimiento:

	Tensión (MPa)	Deformación en Y (mm)
Punto máx. tensión	326	8,9

Ensayo 6.16: Carga estática lateral sobre las patas.



Detalle puntos de máxima tensión:



El punto de máxima tensión se encuentra en la curva de las patas laterales que cuentan con la restricción de movimiento:

	Tensión (MPa)	Deformación en Y (mm)
Punto máx. tensión	294	12,3

Ensayo 7.3.1: Estabilidad delantera.

Se simula una carga gradual horizontal, hasta que la reacción en el eje de coordenadas “Y” sea negativa (se produce el vuelco).



Tabular Data			
	Time [s]	Force...	Force Reaction (Y) [N]
1	1.	0.	211,65
2	2.	0.	211,65
3	3.	0.	211,65
4	4.	0.	211,65
5	5.	0.	41,7
6	6.	0.	28,628
7	7.	0.	15,555
8	8.	0.	2,4817
9	9.	0.	-10,591
10	10.	0.	-23,664

Tabular Data					
	Steps	Time [s]	X [N]	Y [N]	Z [N]
1	1	0.	0.	= 0.	= 0.
2	1	1.	0.	0.	0.
3	2	2.	0.	= 0.	= 0.
4	3	3.	0.	= 0.	= 0.
5	4	4.	0.	= 0.	= 0.
6	5	5.	-130.	= 0.	= 0.
7	6	6.	-140.	= 0.	= 0.
8	7	7.	-150.	= 0.	= 0.
9	8	8.	-160.	= 0.	= 0.
10	9	9.	-170.	= 0.	= 0.
11	10	10.	-180.	= 0.	= 0.
*					

El vuelco se producirá cuando la carga horizontal (eje de coordenadas “X”) esté **entre 160 y 170 N** como se observa en las tablas de arriba.

Ensayo 7.3.6: Estabilidad trasera.

Tabular Data			
	Time [s]	F...	Force Rea
1	1.	0.	264,09
2	2.	0.	264,09
3	3.	0.	264,09
4	4.	0.	54,457
5	5.	0.	35,399
6	6.	0.	16,341
7	7.	0.	-2,7164
8	8.	0.	-21,774
9	9.	0.	-40,832
10	10.	0.	-59,89

Tabular Data			
	Steps	Time [s]	X [N]
1	1	0.	0.
2	1	1.	0.
3	2	2.	0.
4	3	3.	0.
5	4	4.	110.
6	5	5.	120.
7	6	6.	130.
8	7	7.	140.
9	8	8.	150.
10	9	9.	160.
11	10	10.	170.
*			

El vuelco se produce cuando la fuerza horizontal que se aplica está entre **130 y 140 N**.

## Ensayos experimentales realizados en el laboratorio:

### Ensayos de carga estática:

Ensayo	L1	L2
6.4	OK	OK
6.15	OK	OK
6.16	OK	OK

La silla pasa los ensayos de carga estática para el nivel 1 y 2. Durante el ensayo 6.4 en el nivel L1, se le aplica la carga en el asiento según norma y después se le aplica la carga sobre el respaldo, provocando que se levanten las patas a 500 N, antes de llegar a los 560 N que marca la norma, de similar forma se comporta para el nivel L2, produciéndose el levantamiento a los 580 N, no se llega a los 700 N que pide la norma. Los ensayos 6.15 y 6.16 se alcanzan los valores nominales que la norma solicita sin volcar. La silla aguanta estructuralmente ambos niveles de los tres ensayos, sin producirse deformaciones o roturas que impida el uso del asiento.

### Ensayos de estabilidad:

Ensayo	Resultado	Fuerza para vuelco (N)
7.3.1	OK	170,7
7.3.6	OK	154,6

La estabilidad es correcta, como observación, el valor de vuelco de estabilidad trasera 7.3.6 está muy cerca del límite de 153 N, valor que se obtiene de la ecuación dada por la norma.

## Análisis comparativo de los resultados:

CARGA ESTÁTICA SILLA METÁLICA NIVEL L2			
Ensayo	Laboratorio	Simulación	
		Valor (MPa)	Factor seg.
6.4	OK	173	1,44
6.15	OK	326	0,77
6.16	OK	294	0,85

Las propiedades del acero: tensión límite elástico  $S_L=250$  MPa; tensión límite de rotura  $S_R=460$  MPa. En el ensayo 6.4 según simulación no se llega al límite elástico en ningún punto, al ensayarlo en el laboratorio se produce vuelco a partir de 580 N y no se llega a los 700 N, no hay deformación significativa por lo que se ambas metodologías confluyen en el mismo resultado, la silla aguanta.

En el ensayo 6.15 y 6.16, de acuerdo con la simulación, el límite elástico se supera, lo que implica deformación permanente y posible pérdida de funcionalidad de la silla, aunque sin llegar a la rotura. Experimentalmente, después de realizar los ciclos de carga

estática 6.15 y 6.16 la silla sigue cumpliendo los requisitos de funcionalidad ya que no se producen grandes deformaciones en las patas, no hay correlación en los resultados entre metodologías si se toma el límite elástico como referencia para determinar el fallo.

ESTABILIDAD SILLA METÁLICA			
Ensayo	Laboratorio (N)	Simulación (N)	Requisito (N)
7.3.1	170,7 N	160 – 170	20
7.3.6	154,6 N	130 – 140	153

En la estabilidad delantera 7.3.1, mediante ambas metodologías se da por estable la silla. El valor de laboratorio no está dentro del rango obtenido en la simulación, pero sí muy cerca por encima de este. Para la estabilidad trasera el valor de laboratorio esta un 10,4% por encima del margen superior hallado en la simulación, debido a esta discrepancia, el ensayo de laboratorio sí que se pasaría la prueba (de forma muy ajustada), pero según la simulación no pasaría, por lo que no se ajusta a la realidad.

### 4.3 Lámpara metálica portátil

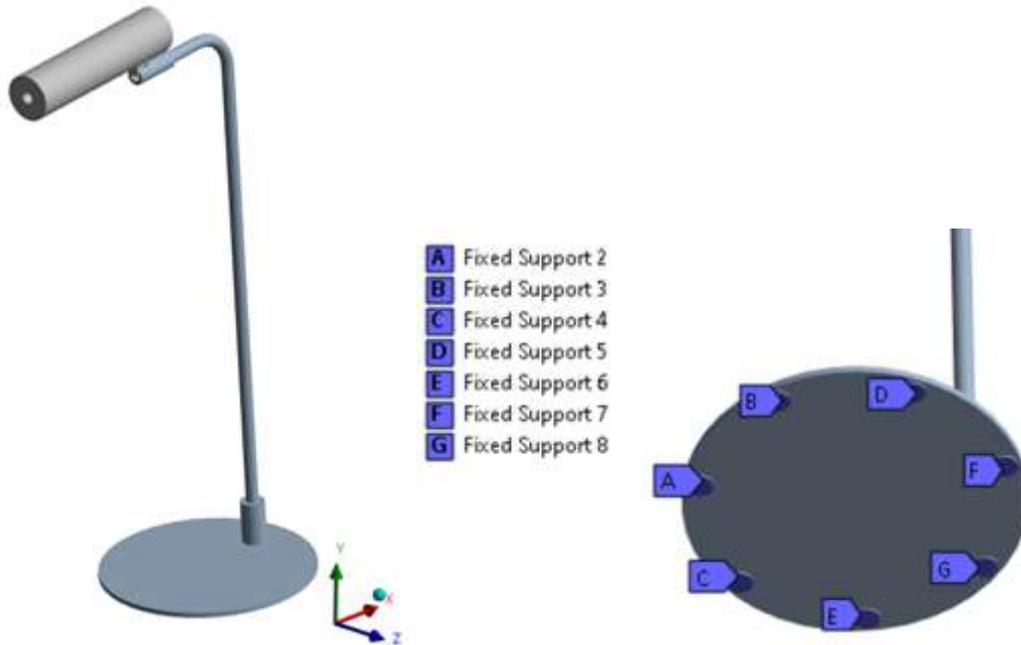
Ensayo de la estabilidad de la muestra de **lámpara metálica portátil**:

#### Simulación digital

El plano de inclinación para el ensayo de la lámpara es el siguiente:



La base del modelo 3D se divide en 7 puntos de los cuales se analizarán las reacciones que la gravedad produce sobre estos en un plano inclinado:



Se hace la comprobación de si tiende al vuelco con 6º:

Modelo inclinado 6 grados							
	A	B	C	D	E	F	G
<b>Rx</b>	2,80	2,10	2,11	0,71	0,72	-4,2	-4,16
<b>Ry</b>	2,40	2,45	2,45	3,30	3,20	2,90	2,80
<b>Rz</b>		-1,8	1,80	-3,16	3,10		
<b>TOTAL</b>	3,70	3,70	3,70	4,60	4,61	5,20	5,00

Se busca un ángulo inclinación que aproxime las reacciones en Y de los puntos F y G (los más desfavorables) a 0, que es la condición de equilibrio.

Probando con un ángulo de 15º, en el punto F y G la reacción está muy próxima al 0, así que, redondeando, se puede afirmar que el plano máximo de inclinación que admite la lámpara es de 15º.

Modelo inclinado 15 grados							
	A	B	C	D	E	F	G
<b>Rx</b>	3,70	2,80	2,80	0,80	0,87	-5,5	-5,58
<b>Ry</b>	3,40	3,35	3,35	4,50	4,50	0,31	0,16
<b>Rz</b>		-2,5	2,5	-4,50	4,60	2,17	-2,26
<b>TOTAL</b>	5,00	5,00	5,00	6,53	6,57	5,99	6,00

TRANSFERENCIA —

## Resultados experimentales en el laboratorio

Al tratarse de una lámpara de interior, el requisito es que sea estable en un plano de 6º de inclinación.



El resultado que se obtiene utilizando un inclinómetro para el vuelco de la lámpara es de 15.8º de inclinación. Satisfaciéndose así los requisitos de la norma que aplica a este producto.

### Análisis comparativo de los resultados:

Para este caso de estudio: la simulación de la estabilidad de un producto sobre un plano inclinado, el margen de error obtenido es pequeño ya que durante la simulación se obtiene que para 15º de inclinación no se ha producido el vuelco pero está próximo a él, y experimentalmente se obtiene un valor de 15,8º, lo cual confirma una alta correlación.

### 4.4 Plataforma SIMULAB

Para el intercambio de información y archivos entre diseñador y la persona que realiza los ensayos digitales, se crea la plataforma denominada SIMULAB. El diseñador vuelca la información requerida y el archivo CAD, la plataforma muestra la normativa que le puede aplicar y en función de las características constructivas del mobiliario que el usuario ha introducido, se muestran los ensayos a aplicar.



Previsualización del mueble a ensayar a partir de un archivo CAD.

**Objeto a Ensayar**  
Silla

**Parametros Objeto**

Alto	
Ancho	
Peso	
Alto	

**Normas**

1	11010
2	1022-05
3	68878
4	4559
5	1178
6	581

**Ensayos**

110112	Inspección previa
2	Carga estática sobre asiento
3	Carga estática sobre respaldo
4	Fatiga asiento
5	Fatiga respaldo
110113	Fatiga asiento-respaldo
7	Carga patas delanteras
8	Carga patas lateral
9	Carga diagonal sobre la base
110114	Impacto asiento
110115	Impacto respaldo
12	Calda
13	Uso de sillas giratorias

Vista de los menús de la plataforma SIMULAB.

## 5. Conclusiones

Durante el trascurso de este proyecto, se ha podido testear la viabilidad de la simulación digital y la correlación de esta con el ensayo experimental de laboratorio, con el objeto de incluir el ensayo de un prototipo digital en la etapa de diseño. Se encuentran divergencias entre ambas metodologías de ensayo, tanto para los ensayos de carga estática como estabilidad. Para pulir y acotar estas divergencias se necesita un muestreo más amplio que se nutriese de nuevos ensayos, es para ello que se crea una plataforma de intercambio de datos denominada SIMULAB, donde el diseñador puede subir un archivo de su producto y recibir la simulación de este conforme la normativa que le aplique, además de servir a nivel estadístico para poder aplicar correcciones a los ensayos digitales y que fuesen más certeros.

# **AIDIMME**

## **INSTITUTO TECNOLÓGICO**

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)  
46980 Paterna. Valencia (España)  
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)  
46980 Paterna. Valencia (España)  
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

[aidimme@aidimme.es](mailto:aidimme@aidimme.es)

[www.aidimme.es](http://www.aidimme.es)