



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**“IMPLEMENTACIÓN DE LA INGENIERÍA CONCURRENTE PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENSAYO A CARGA DE IMPACTO IK EN LUMINARIAS DE ALUMBRADO PÚBLICO DE ACUERDO A LA NORMA IEC 60068-2-75 PARA EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO DEL ECUADOR”**

**AUTOR:**

**ANDRADE CLAVIJO, DIEGO MICHAEL**

**DIRECTOR:**

**ING. MANJARRÉS ARIAS, FÉLIX XAVIER**



# CONTENIDO

- [Planteamiento del problema](#)
- [Justificación e importancia](#)
- [Objetivos](#)
- [Hipótesis](#)
- [Fundamentación Teórica](#)
- [Diagramas Funcionales](#)
- [Evaluación de Principios de Solución](#)
- [Diseño de Máquina Comercializada](#)
- [Diseño de Máquina Propuesta](#)
- [Resumen de Características Mecánicas](#)
- [Simulación Estática Estructura](#)
- [Simulación Dinámica Explícita Impacto](#)
- [Diseño para la Fabricación](#)
- [Diseño para el Montaje](#)
- [Conclusiones](#)
- [Recomendaciones](#)



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



La norma técnica ecuatoriana, menciona que la clasificación de los grados de protección de los envoltentes de equipos eléctricos que actúan para mitigar la posible severidad de un evento de impacto especificado.





El Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador a través de su Laboratorio de Luminotecnia, no cuenta con un sistema de ensayo tipo impacto IK que permita evaluar la resistencia a carga de impacto.




**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

- 
- Realizar una prueba necesaria para garantizar la función del sistema integral a condiciones de trabajo normal.

- 
- Modelar las variables claves del proceso y producto reduciendo las fallas, detección de errores, y gastos innecesarios en la preparación del modelo

- 
- Obtener resultados con una funcionalidad mejor, menor tiempo de desarrollo y sin gastar recursos en construir nuevos prototipos para ensayos.

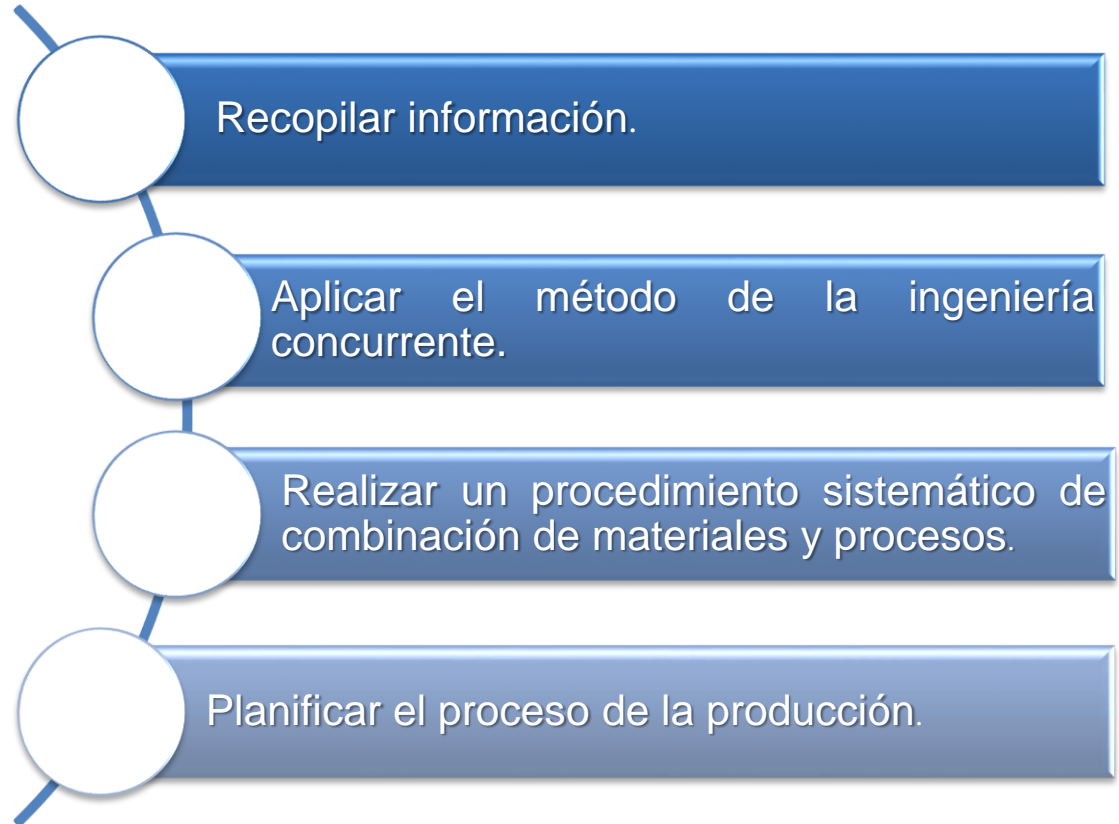


# OBJETIVOS

## Objetivo General

Implementar una metodología de ingeniería concurrente para un sistema de ensayo tipo impacto IK en luminarias de alumbrado público de acuerdo a la norma IEC 60068-2-75 en el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador.

## Objetivos Específicos



# HIPÓTESIS

¿Aplicando el método de la ingeniería concurrente se obtendrá un proceso adecuado y eficiente para el sistema de ensayo tipo impacto IK, que garantizará el funcionamiento correspondiente de los componentes internos de las luminarias de alumbrado público de acuerdo a las normas del país?



# FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## DISEÑO PARA LA CALIDAD

### Requisitos del Cliente

Alto grado de exactitud

Preservar la integridad del operario

Resistente y duradero

1.Fácil mantenimiento

1.Fácil utilización

1.Fácil montaje

1.Eficiente

1.Transportable

1.Estético

1.Económico

1.Equipo mecánico

### Requisitos funcionales

Material constructivo

Alto grado de precisión

Elementos mecánicos

1.Tolerancias y ajustes del equipo

1.Resistencia a la fluencia y fatiga

1.Energización de la máquina

1.Sistema ergonómico

1.Simplificación de piezas

1.Rígida y estable

1.Medidor de energía de impacto

1.Reutilización y reciclaje

1.Disponibilidad

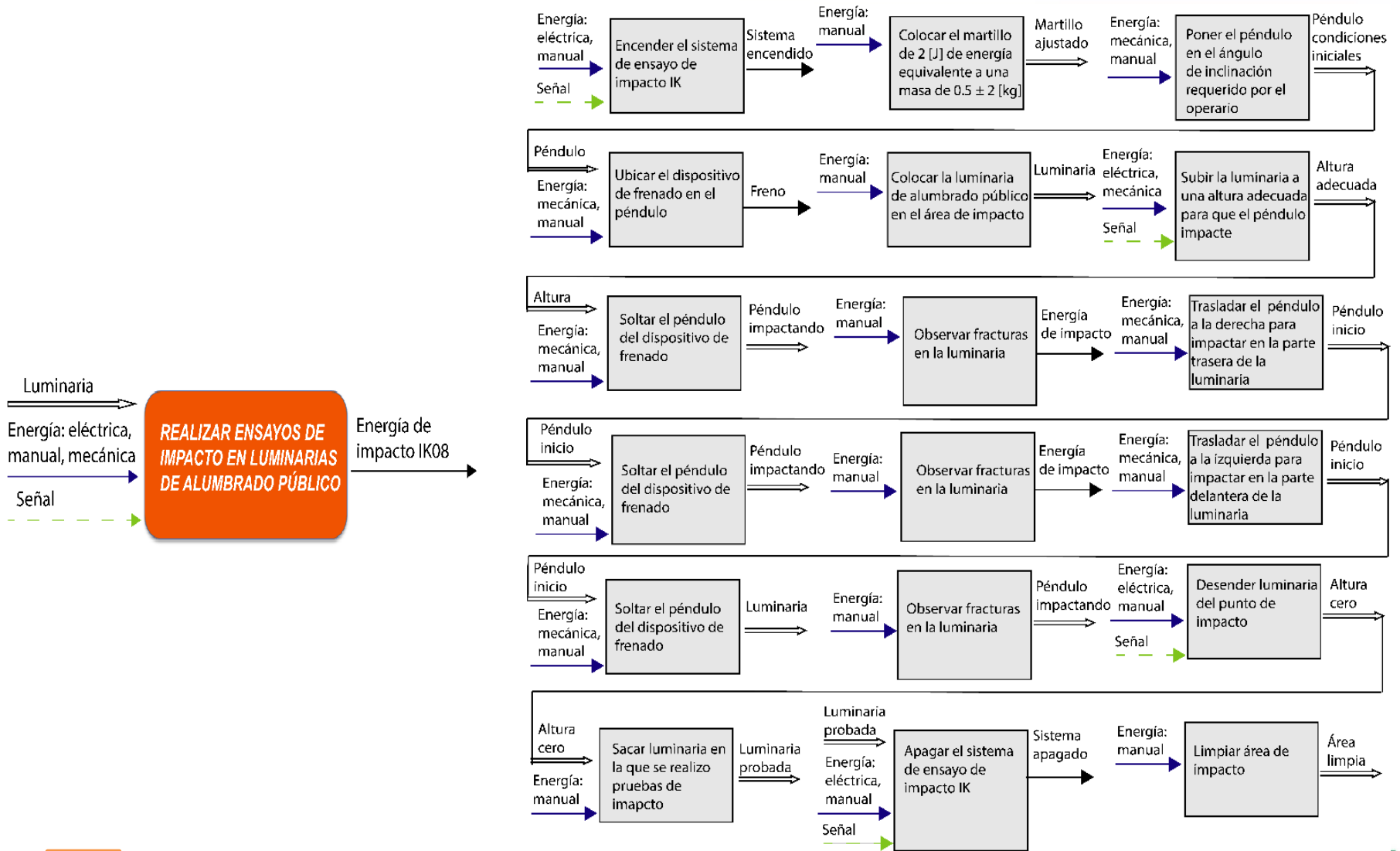
1.Factor de seguridad

1.Vida útil

1.Fiabilidad en el diseño

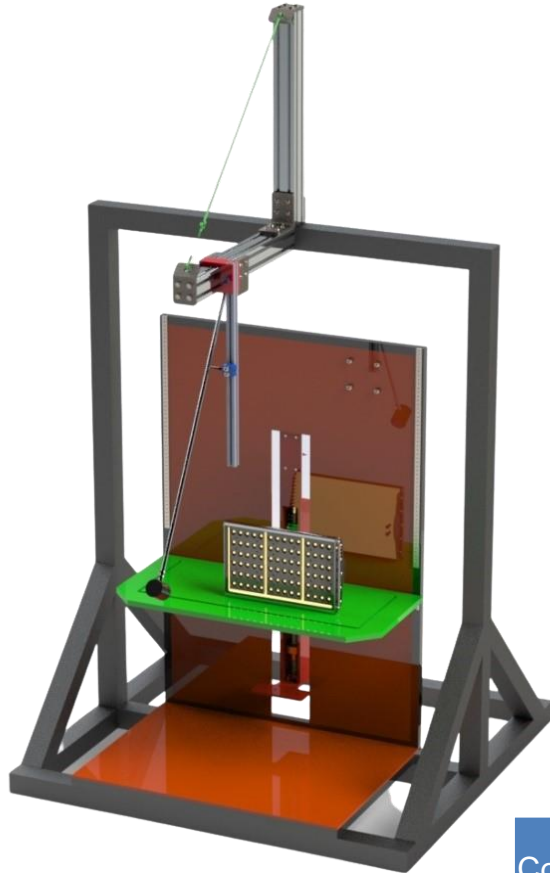


# DIAGRAMAS FUNCIONALES





# EVALUACIÓN DE PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN



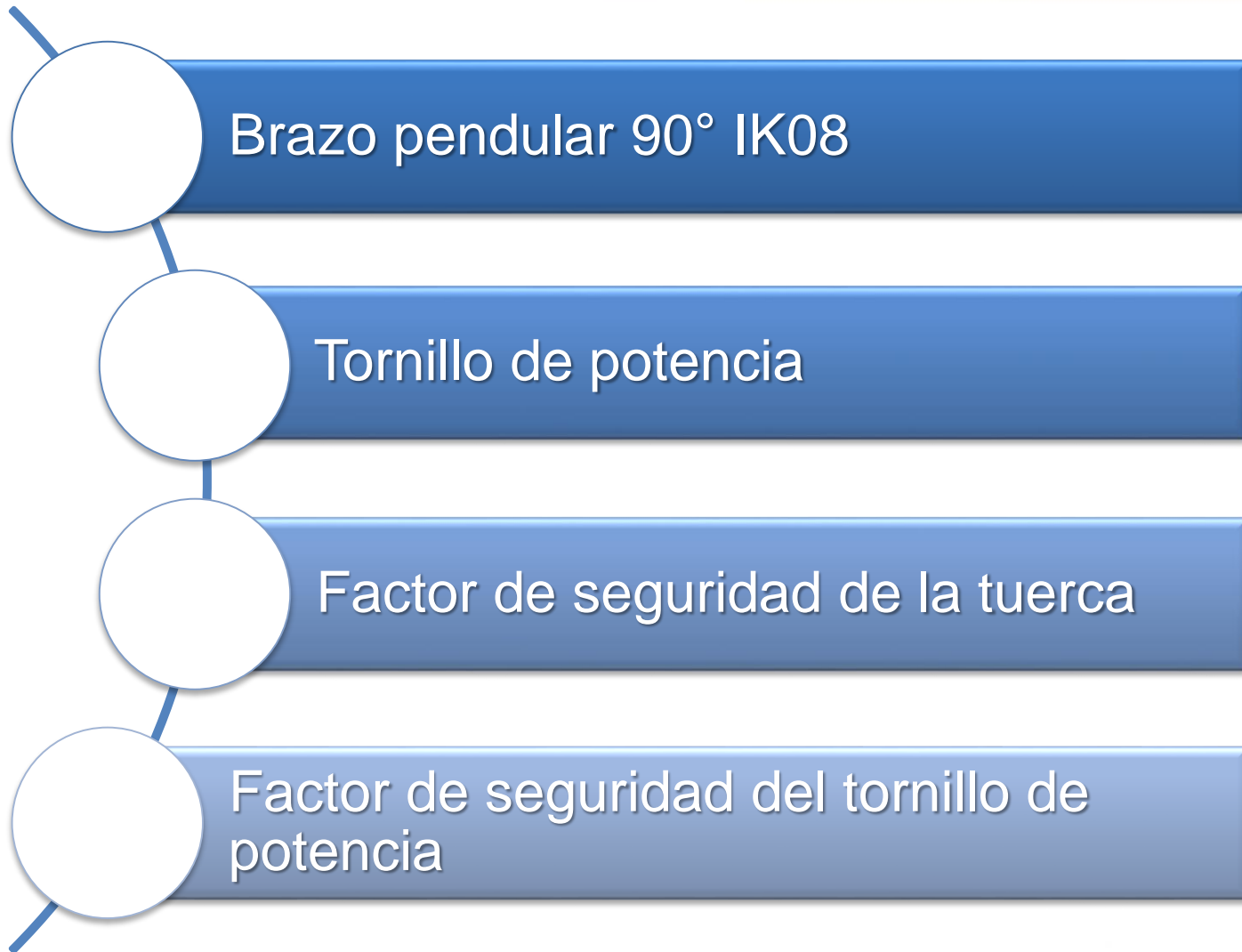
Máquina  
Comercializada



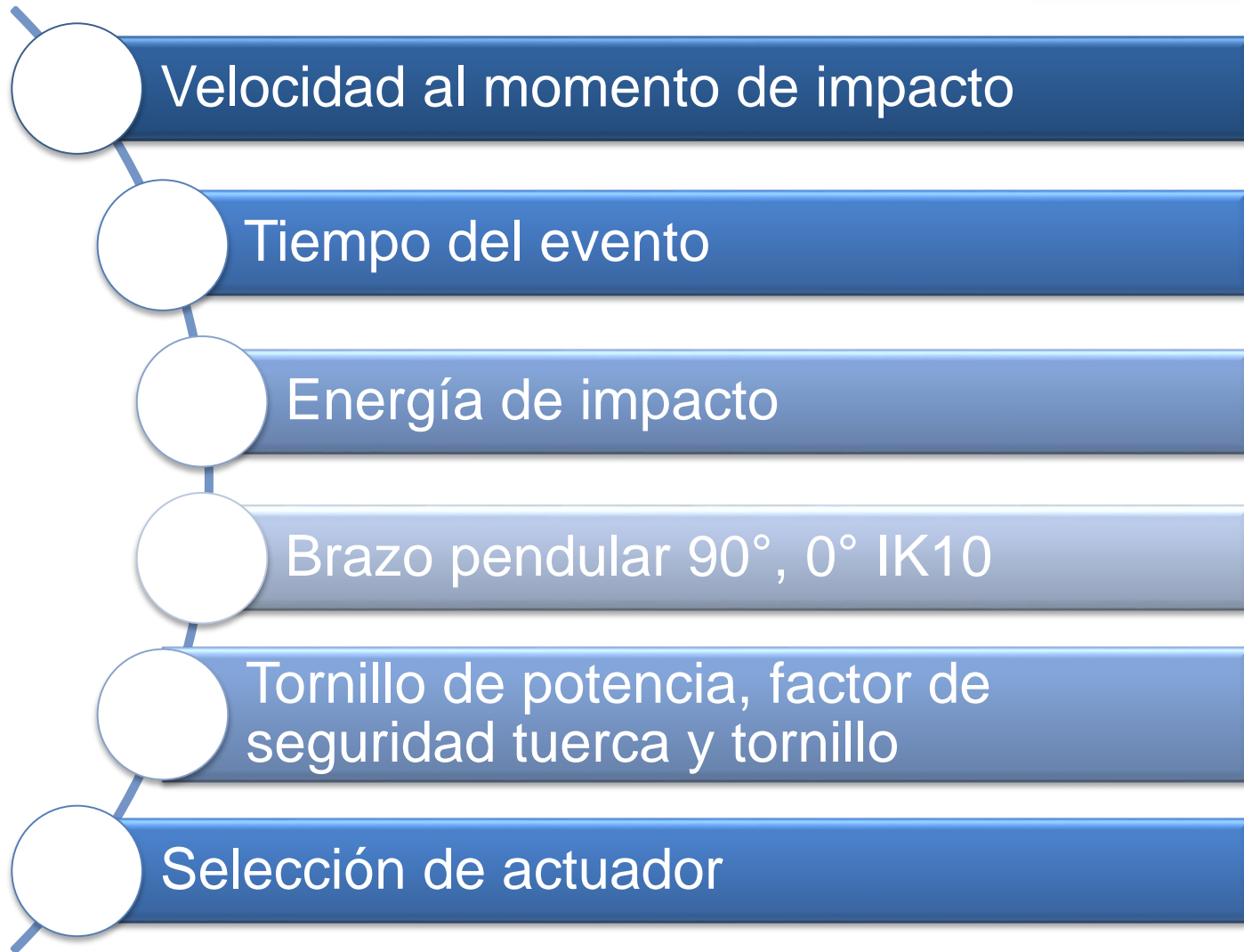
Máquina  
Propuesta



# DISEÑO DE MÁQUINA COMERCIALIZADA



# DISEÑO DE MÁQUINA PROPUESTA



# RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Máquina comercializada

Brazo pendular 90° IK08

Material: AISI 1060

Peso martillo:

$$W_n = 1,7 \text{ kg}$$

(IEC 60068-2-75)

Fuerza en el péndulo:

$$F = 16,667 \text{ N}$$

1. Diámetro del péndulo:

$$2. \varnothing = 9/16 \text{ in} = 14,28 \text{ mm}$$

1. Factor de seguridad:

$$2. n_{ik08} = 2.240$$

Máquina propuesta

Brazo pendular 90° IK10

Material: AISI 1045

Peso martillo:

$$W_n = 10 \text{ kg}$$

(IEC 60068-2-75)

Fuerza en el péndulo:

$$F = 98,1 \text{ N}$$

1. Diámetro del péndulo:

$$2. \varnothing = 1 \frac{1}{8} \text{ in} = 28,575 \text{ mm}$$

1. Factor de seguridad:

$$2. n_{ik10} = 2.551$$

$$3. n_{ik08} = 3,362$$



# RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Máquina comercializada

## Datos:

Filete simple

$$n = 1$$

Diámetro exterior:

$$d = 20 \text{ mm}$$

1.Paso:

$$2. p = 1,5 \text{ mm}$$

1.Peso: Medido por IIGE

$$2. m_z = 60 \text{ kg}$$

1.Coeficiente de fricción:

$$2.u = 0,15$$

Tornillo de potencia

Máquina propuesta

## Datos:

Filete simple

$$n = 1$$

Diámetro exterior:

$$d = 12 \text{ mm}$$

1.Paso:

$$2. p = 1,75 \text{ mm}$$

1.Peso: Medido por IIGE

$$2. m_z = 60 \text{ kg} + 15\%$$

1.Coeficiente de fricción:

$$2.u = 0,15$$

Tornillo de potencia



# RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Máquina comercializada

**Factor de seguridad:**

Tuerca:

$$n_{ctu} = 4,60$$

Tornillo:

$$n_{ct} = 6,20$$

1.Fuerza:

$$2. F = 588 N$$

1.Torque de acenso:

$$2. T_s = 1095,239 Nmm$$

1.Torque de descenso:

$$2.T_b = 616,070 Nmm$$

1.Eficiencia:

$$2.n = 21,361\%$$

Máquina propuesta

**Factor de seguridad:**

Tuerca:

$$n_{ctu} = 2,39$$

Tornillo:

$$n_{ct} = 2,70$$

1.Fuerza:

$$2.F = 676,2 N$$

1.Torque de acenso:

$$2.T_s = 791,572 Nmm$$

1.Torque de descenso:

$$2.T_b = 384,488 Nmm$$

1.Eficiencia:

$$2.n = 23,792\%$$

Tornillo de potencia

Tornillo de potencia



# CALIDAD DE MALLADO

Orthogonal Quality

Inaceptable:

0 – 0,001

Mala:

0,001 – 0,14

1.Aceptable:

2. 0,15 – 0,20

1.Buena:

2.0,20 – 0,69

1.Muy Buena:

2.0,70 – 0,95

1.Excelente:

2.0,95 – 1

Degenerada:

1

Mala:

0,9 – 1

1.Pobre:

2. 0,75 – 0,90

1.Aceptable:

2.0,50 – 0,75

1.Buena:

2.0,25 – 0,50

1.Excelente:

2.0,1 – 0,25

1.Equilátero

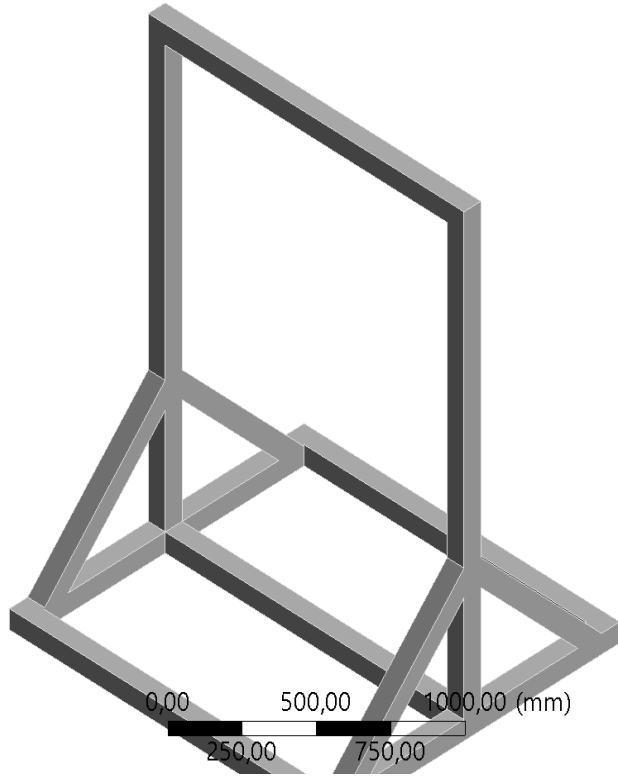
2. 1

Skewnes

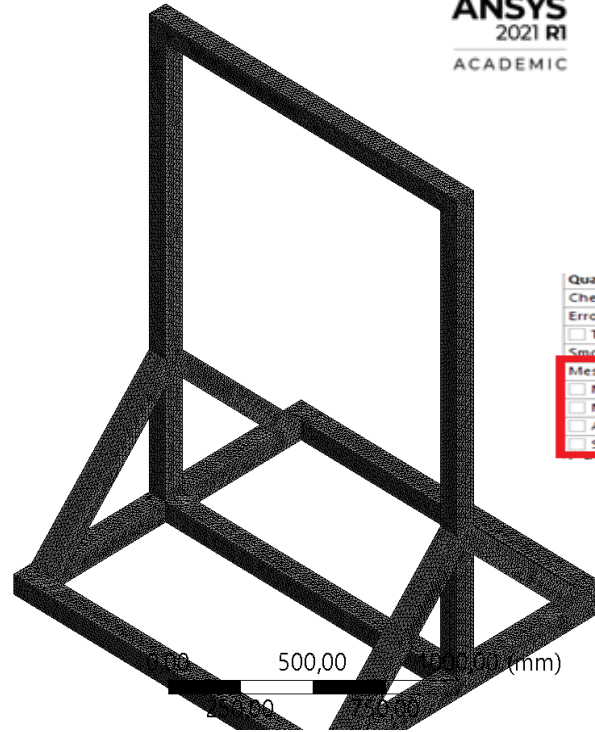


# SIMULACIÓN ESTÁTICA - ESTRUCTURA

Máquina comercializada



Geometría



Mallado

ANSYS  
2021 R1  
ACADEMIC

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	8,5923e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,9958
<input type="checkbox"/> Average	0,77804
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12139



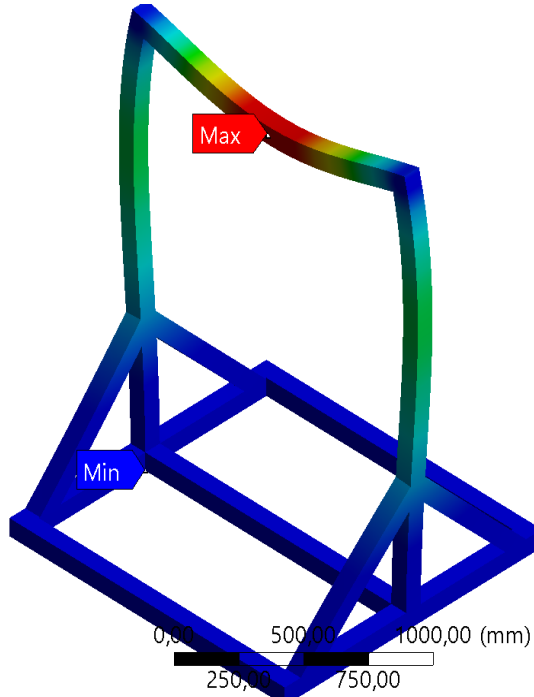
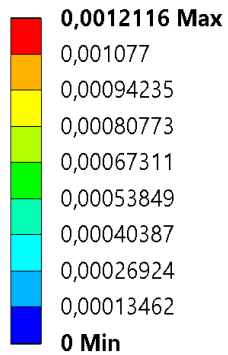
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# SIMULACIÓN ESTÁTICA - ESTRUCTURA

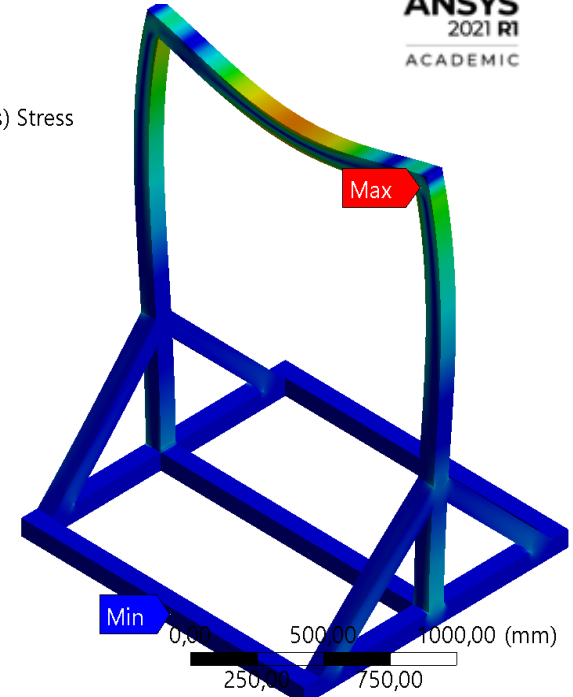
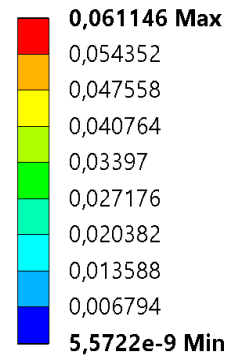
Máquina comercializada

**A: Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1



Deformación total

**A: Static Structural**  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1



Esfuerzos principales

ANSYS  
2021 R1  
ACADEMIC

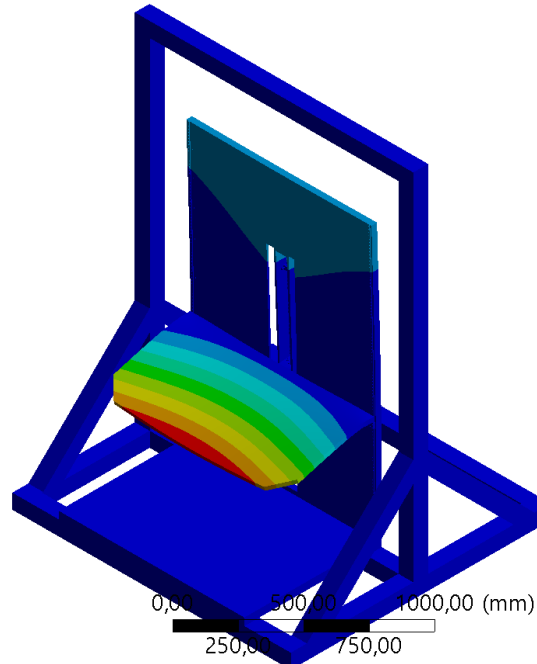
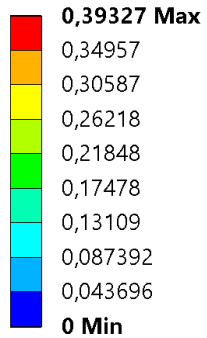


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN ESTÁTICA – BASE LUMINARIA

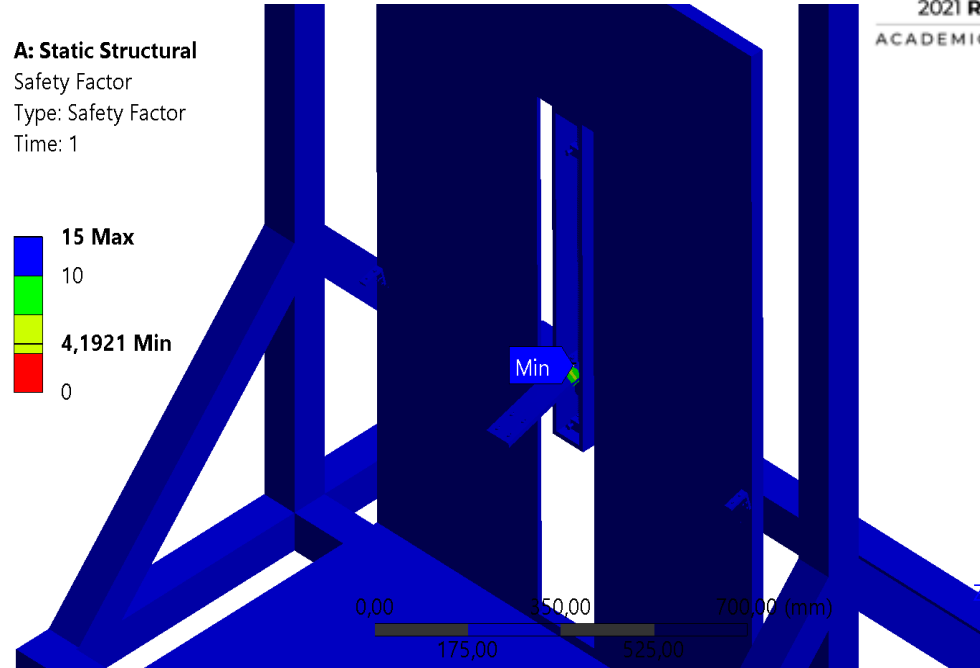
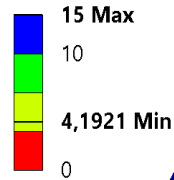
Máquina comercializada

**A: Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1



Deformación total

**A: Static Structural**  
Safety Factor  
Type: Safety Factor  
Time: 1



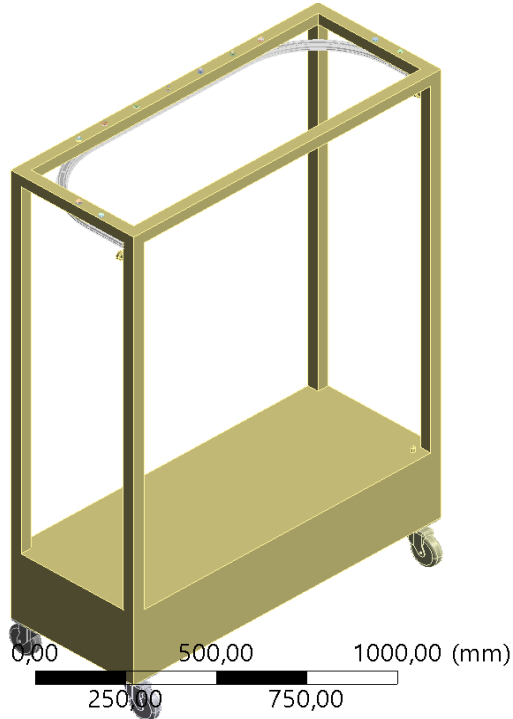
Factor de seguridad



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN ESTÁTICA – ESTRUCTURA

Máquina comercializada



Geometría



Mallado

ANSYS  
2021 R1  
ACADEMIC

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	2,8779e-005
<input type="checkbox"/> Max	0,99597
<input type="checkbox"/> Average	0,71255
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,15995



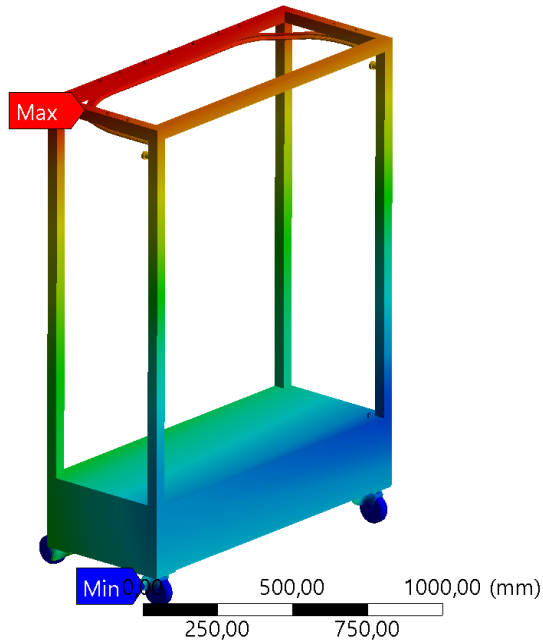
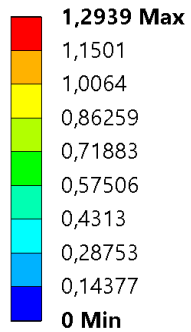
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN ESTÁTICA - ESTRUCTURA

## Máquina propuesta

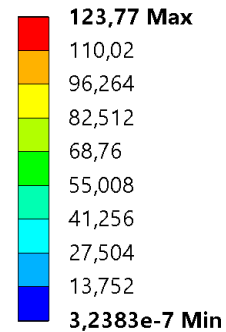
**A: Static Structural**

Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1



**A: Static Structural**

Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1



ANSYS  
2021 R1  
ACADEMIC

Deformación  
total



Esfuerzos  
principales

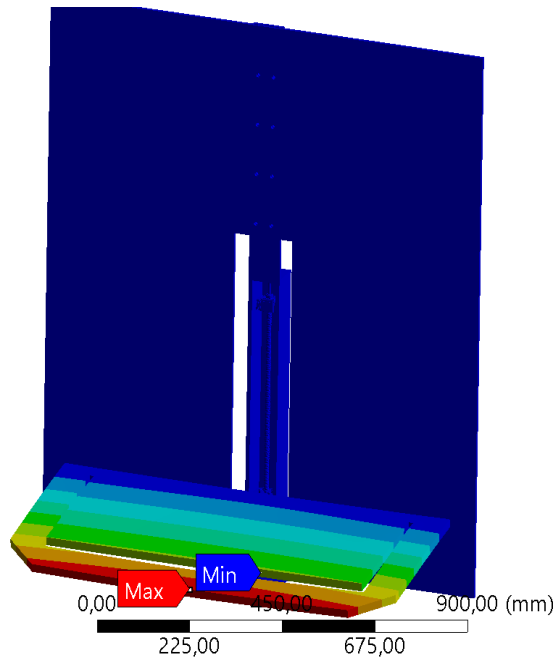
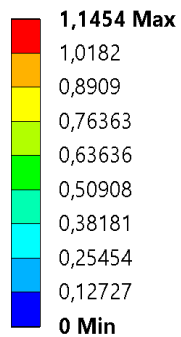


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN ESTÁTICA – BASE LUMINARIA

Máquina propuesta

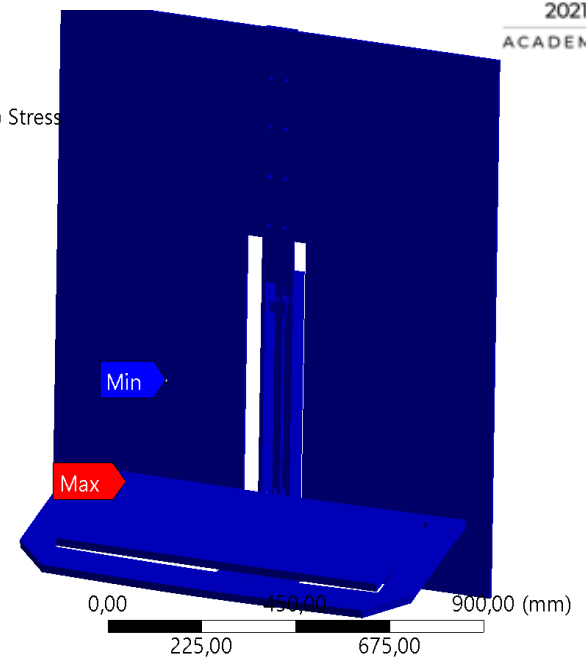
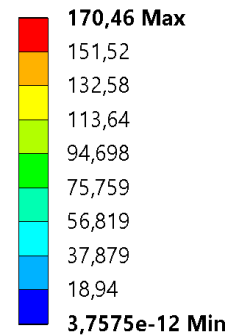
**A: Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1



Deformación total



**A: Static Structural**  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1



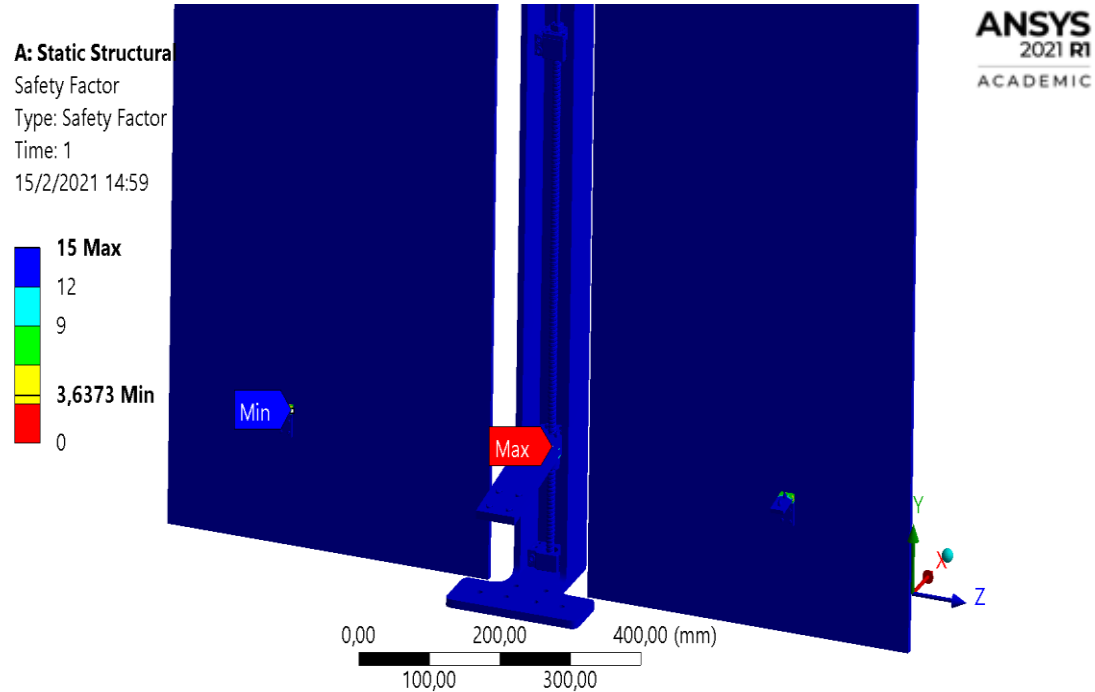
Esfuerzos principales



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN ESTÁTICA – BASE LUMINARIA

Máquina propuesta



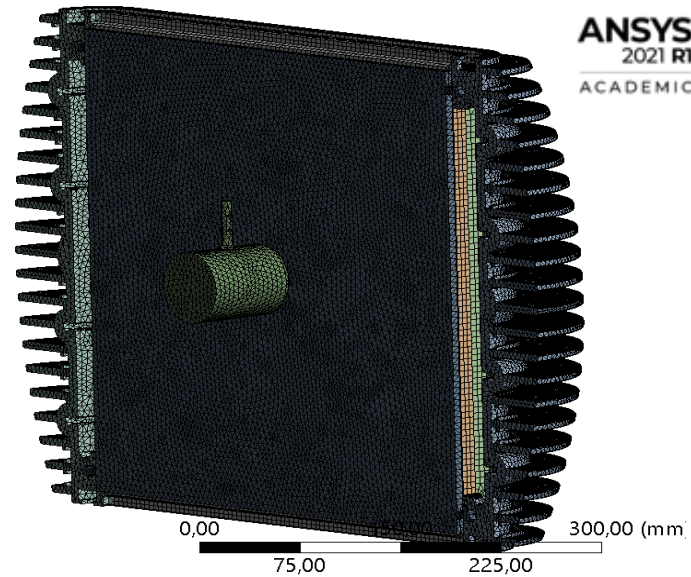
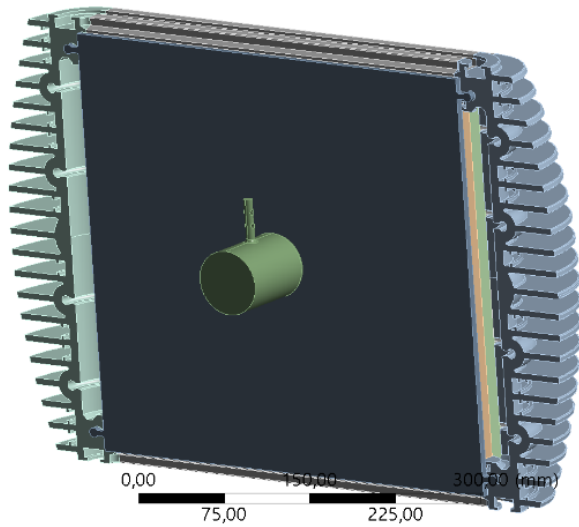
Factor de seguridad



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN DINÁMICA EXPLÍCITA - IMPACTO

Máquina propuesta



ANSYS  
2021 R1  
ACADEMIC

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	High
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	9,2778e-002
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,82773
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,1397

Geometría



Mallado



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# SIMULACIÓN DINÁMICA EXPLÍCITA - IMPACTO

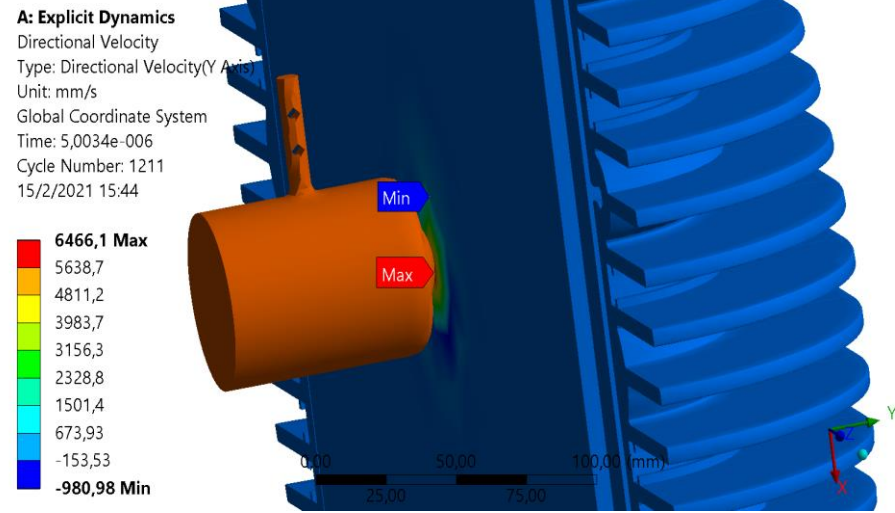
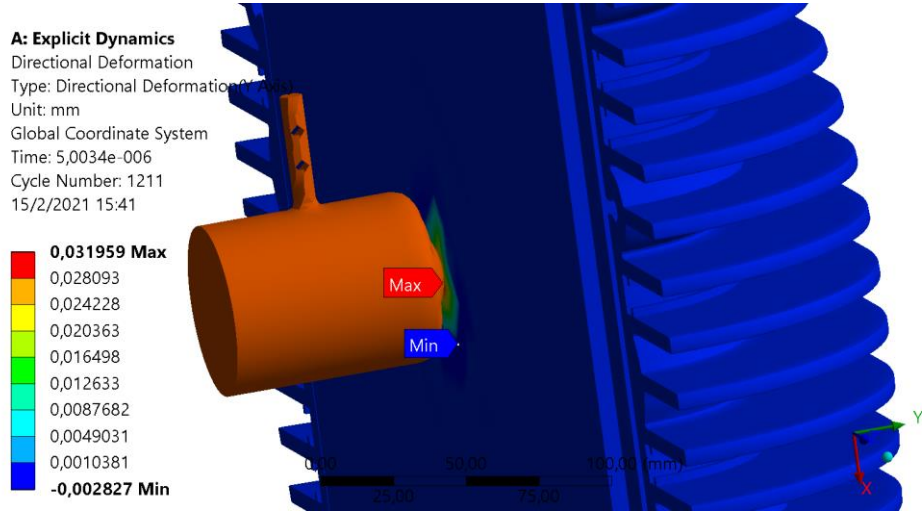
## Máquina propuesta

$$E_p = E_c = m \times g \times h = \frac{m \times v^2}{2}$$

$$v = \sqrt{2 \times g \times h}$$

$$t = \frac{\omega}{\alpha}$$

ANSYS  
2021 R1  
ACADEMIC



Deformación total



Esfuerzos principales





# DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN

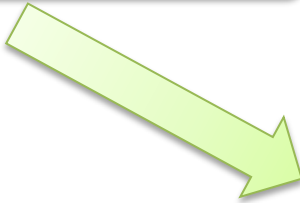
Diseño para la fabricación



Guía de referencia para  
piezas torneadas

Guía de referencia para  
piezas taladradas

Guía de referencia para  
piezas conjuntos soldados



**Simples, Compuestos**

Símbolo	Descripción
○	Operación.
□	Inspección.
➡	Desplazamiento o transporte.
D	Deposito provisional o espera.
▽	Almacenamiento permanente.
⊗	Actividades combinadas.



Operación.



Inspección.



Desplazamiento o transporte.



Deposito provisional o espera.



Almacenamiento permanente.

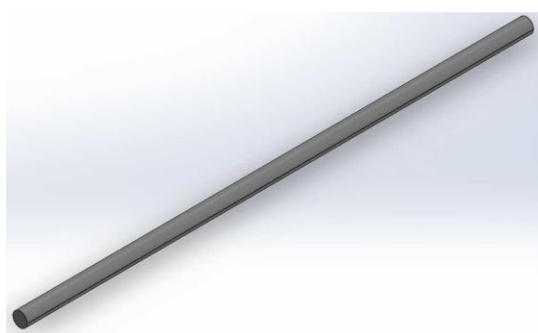
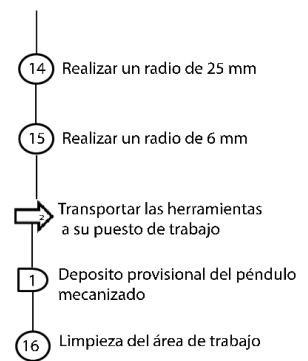
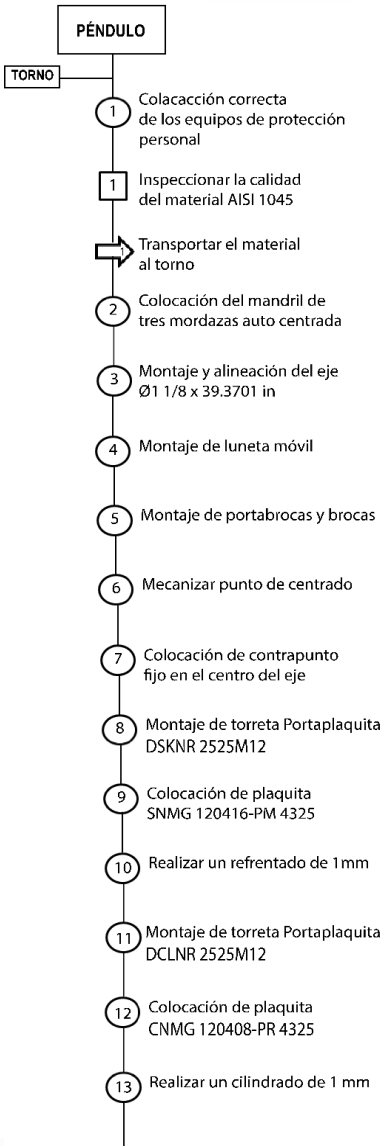


Actividades combinadas.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DIAGRAMA DEL FLUJO DE PROCESO DEL PÉNDULO



## Geometría

## Refrentado

Herramienta		Parámetros de corte				
		$D_m = 28.58 \text{ mm}$				
		$Q = 110.7 \text{ cm}^3 / \text{min}$				
		$a_p = 1.5 \text{ mm}$				
		$v_c = 180 \text{ m/min}$				
		$f_n = 0.41 \text{ mm/rev}$				
		$n = 2004 \text{ rpm}$				
Portaplaquita: DSKNR 2525M12		$P_c = 0.57 \text{ kW}$				
Plaquita: SNMG 120416-PM 4325		$T = 21.6 \text{ Nm}$				
		$T_c = 0.03 \text{ s}$				
Plaquita	Profundidad de pasada ( $a_p$ )			Avance ( $f_n$ )		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
SNMG 120416-PM 4325	1 mm	6 mm	3 mm	0.24 mm/rev	0.67 mm/rev	0.41 mm/rev
Material	Fuerza de corte específica (N/mm <sup>2</sup> )		Dureza (HB)	Velocidad de corte Vc (m/min)		
AISI 1045	310		212	240 – 170 – 125		

## Cilindrado

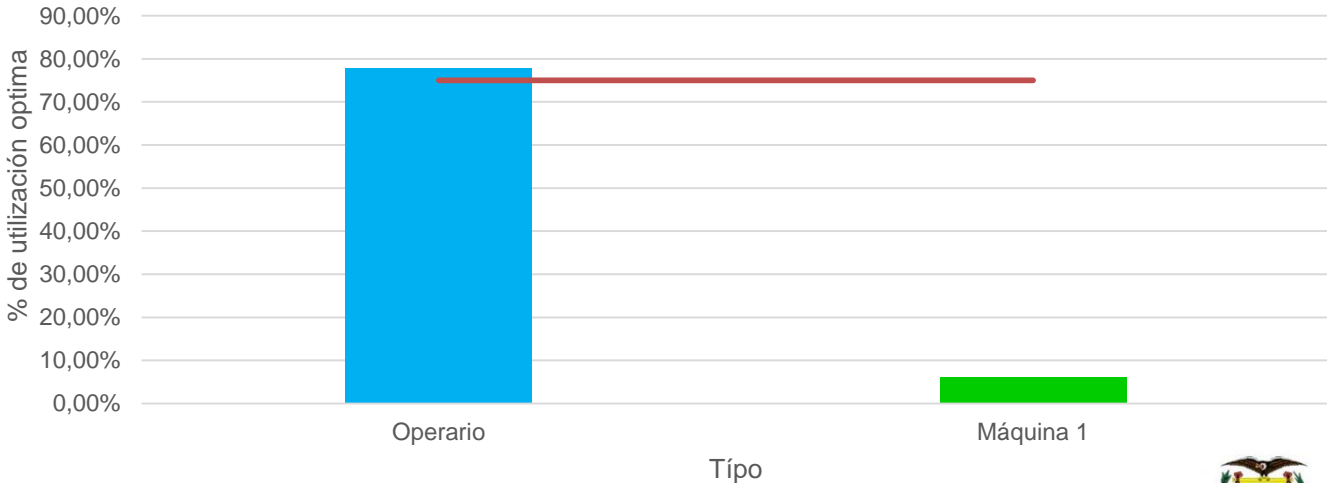
Herramienta		Parámetros de corte				
		$D_m = 28.58 \text{ mm}$				
		$Q = 56 \text{ cm}^3 / \text{min}$				
		$a_p = 1 \text{ mm}$				
		$v_c = 160 \text{ m/min}$				
		$f_n = 0.35 \text{ mm/rev}$				
		$n = 1782 \text{ rpm}$				
Portaplaquita: DCLNR 2525M12		$P_c = 0.30 \text{ kW}$				
Plaquita: CNMG 120408-PR 4325		$T = 21.6 \text{ Nm}$				
		$T_c = 1.60 \text{ s}$				
Plaquita	Profundidad de pasada ( $a_p$ )			Avance ( $f_n$ )		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
CNMG 120408-PR 4325	0.7 mm	7 mm	4 mm	0.2 mm/rev	0.5 mm/rev	0.35 mm/rev
Material	Fuerza de corte específica (N/mm <sup>2</sup> )		Dureza (HB)	Velocidad de corte Vc (m/min)		
AISI 1045	310		212	240 – 170 – 125		

# DIAGRAMA HOMBRE – MÁQUINA DEL PÉNDULO

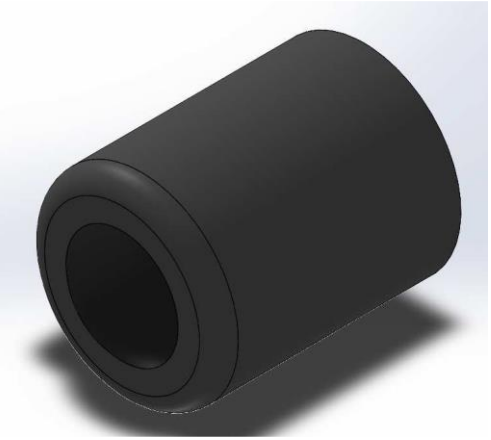
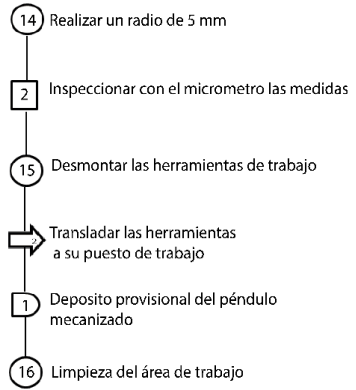
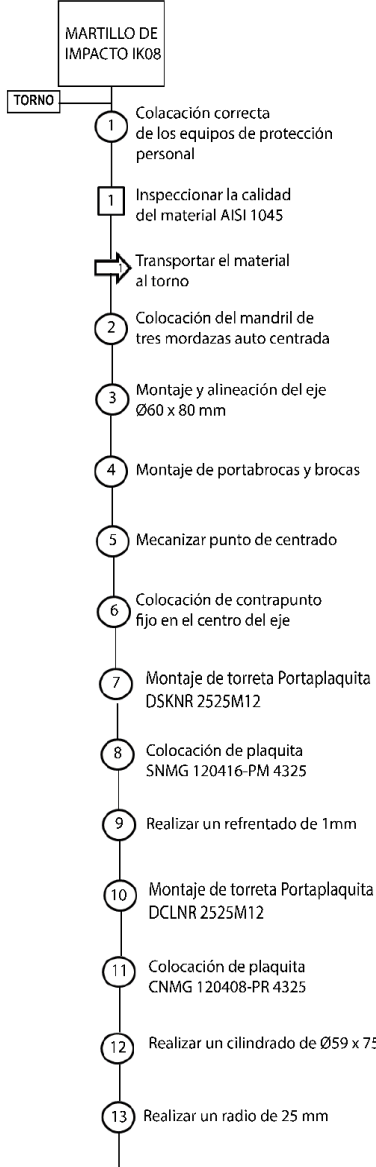
$$T_s = t_o \times F_v \times (1 + f) \times (1 + f_s)$$

Resumen y análisis de información					
Tipo	Tiempo del ciclo (min)	Tiempo de acción (mm)	Tiempo de inactividad (min)	% de utilización	% de utilización optima
Operario	104	80,94	23,06	77,83%	75%
Máquina 1	104	6,83	97,62	6,13%	75%
Máquina 2	0	0	0	0	0

Porcentaje de Utilización



# DIAGRAMA DEL FLUJO DE PROCESO DEL MARTILLO DE IMPACTO



## Geometría

## Refrentado

Herramienta		Parámetros de corte						
		$D_m = 60 \text{ mm}$ $Q = 83,64 \text{ cm}^3/\text{min}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$ $v_c = 170 \text{ m/min}$ $f_n = 0,41 \text{ mm/rev}$ $n = 900 \text{ rpm}$ $P_c = 0,43 \text{ kW}$						
		Portaplaquita: DSKNR 2525M12						
		Plaquita: SNMG 120416-PM 4325						
		Plaquita	Profundidad de pasada ( $a_p$ )		Avance ( $f_n$ )			
		SNMG 120416-PM 4325	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
			1 mm	6 mm	3 mm	0,24 mm /rev	0,67 mm /rev	0,41 mm/rev
Material	Fuerza de corte específica (N/mm <sup>2</sup> )		Dureza (HB)	Velocidad de corte Vc (m/min)				
AISI 1045	310		212	240 - 170 - 125				

## Cilindrado

Herramienta		Parámetros de corte						
		$D_m = 60 \text{ mm}$ $Q = 49 \text{ cm}^3/\text{min}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $v_c = 140 \text{ m/min}$ $f_n = 0,35 \text{ mm/rev}$ $n = 742 \text{ rpm}$ $P_c = 0,28 \text{ kW}$						
		Portaplaquita: DCLNR 2525M12						
		Plaquita: CNMG 120408-PR 4325						
		Plaquita	Profundidad de pasada ( $a_p$ )		Avance ( $f_n$ )			
		CNMG 120408-PR 4325	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
			0,7 mm	7 mm	4 mm	0,2 mm /rev	0,5 mm /rev	0,35 mm/rev
Material	Fuerza de corte específica (N/mm <sup>2</sup> )		Dureza (HB)	Velocidad de corte Vc (m/min)				
AISI 1045	310		212	240 - 170 - 125				

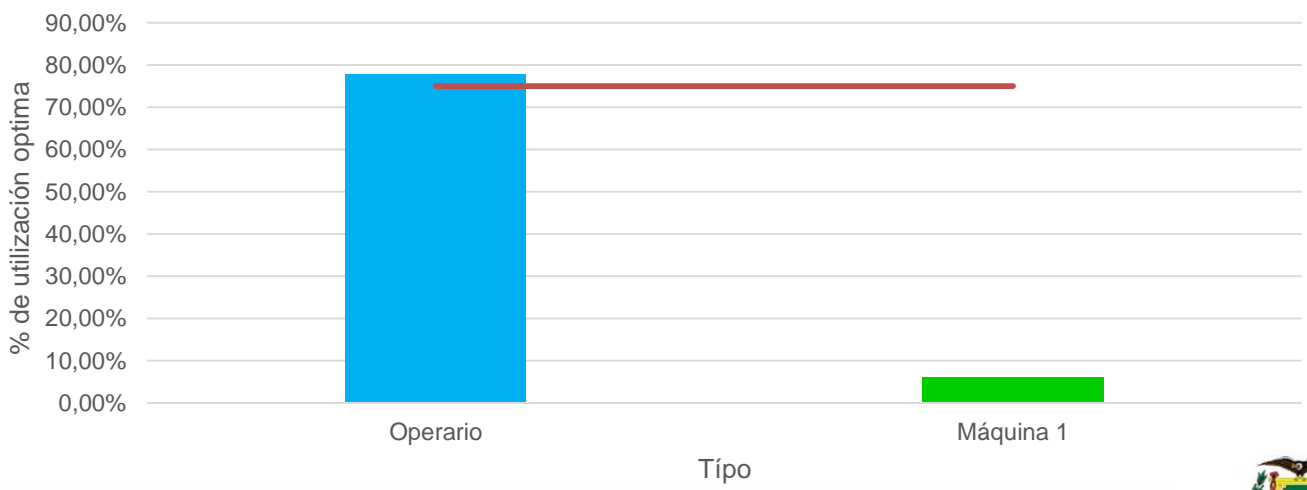


# DIAGRAMA HOMBRE – MÁQUINA DEL MARTILLO DE IMPACTO

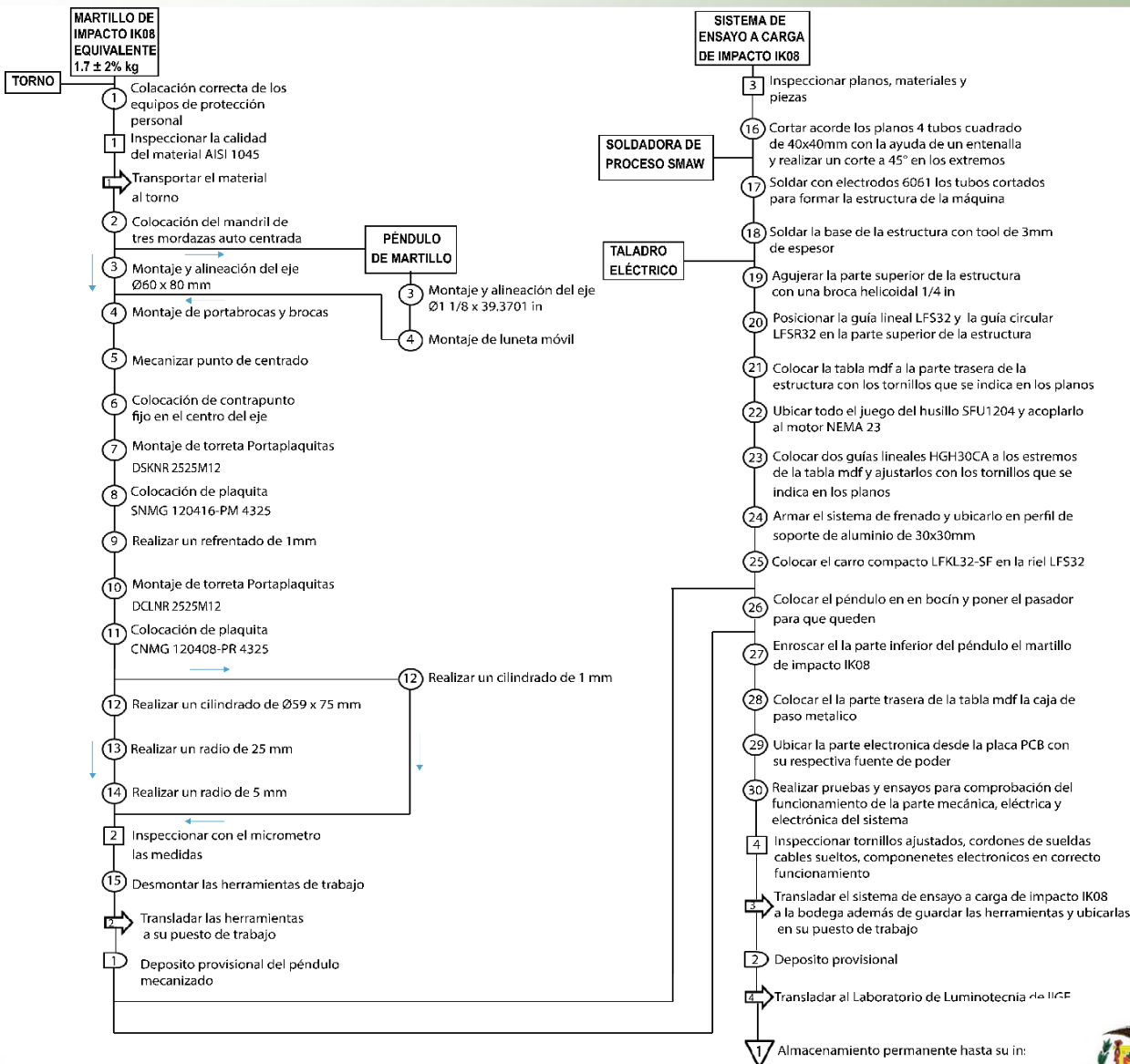
$$T_s = t_o \times F_v \times (1 + f) \times (1 + f_s)$$

Resumen y análisis de información					
Tipo	Tiempo del ciclo (min)	Tiempo de acción (mm)	Tiempo de inactividad (min)	% de utilización	% de utilización optima
Operario	102	71,7	30,3	70,29%	75%
Máquina 1	102	14	94,76	7,10%	75%
Máquina 2	0	0	0	0	0

Porcentaje de Utilización

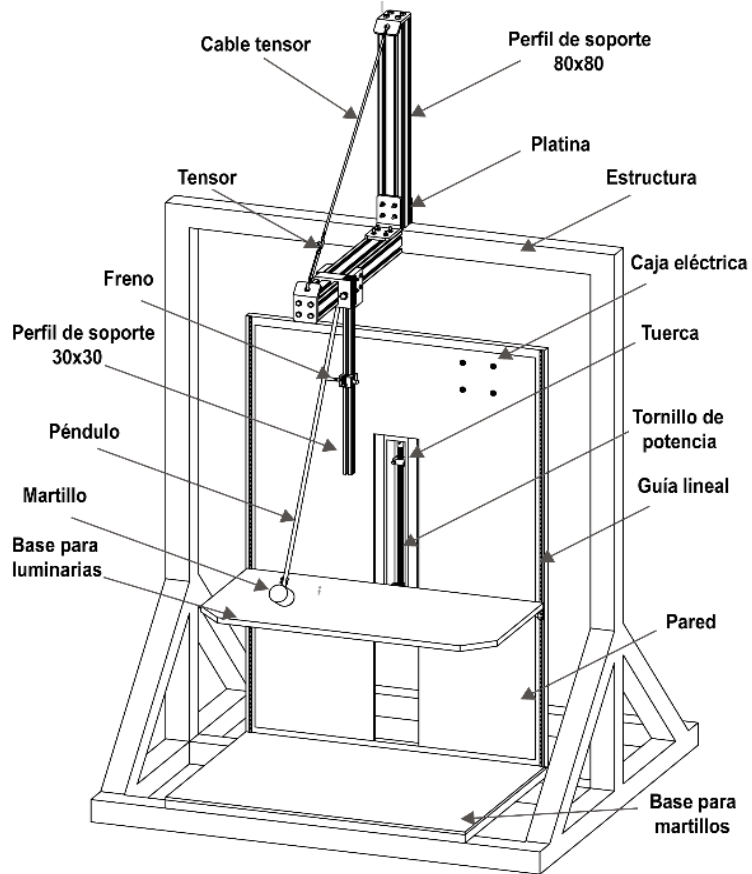


# DIAGRAMA DEL FLUJO DE PROCESO DEL SISTEMA DE ENSAYO A CARGA DE IMPACTO IK

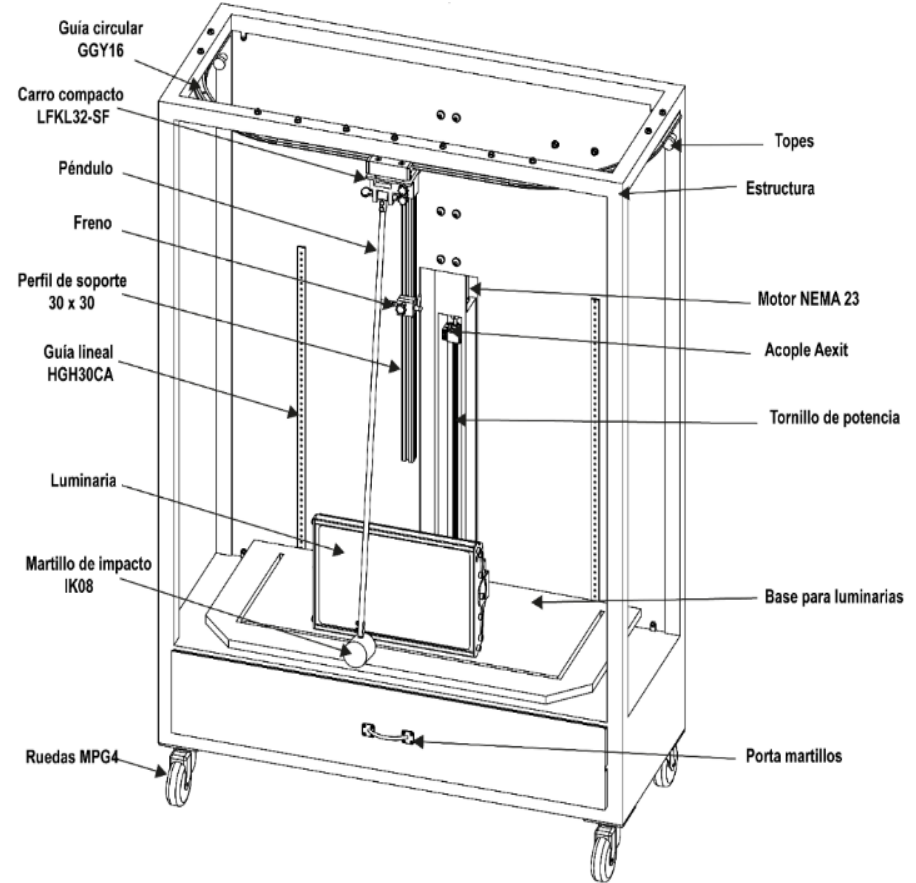


# DISEÑO PARA EL MONTAJE

## Montaje Manual



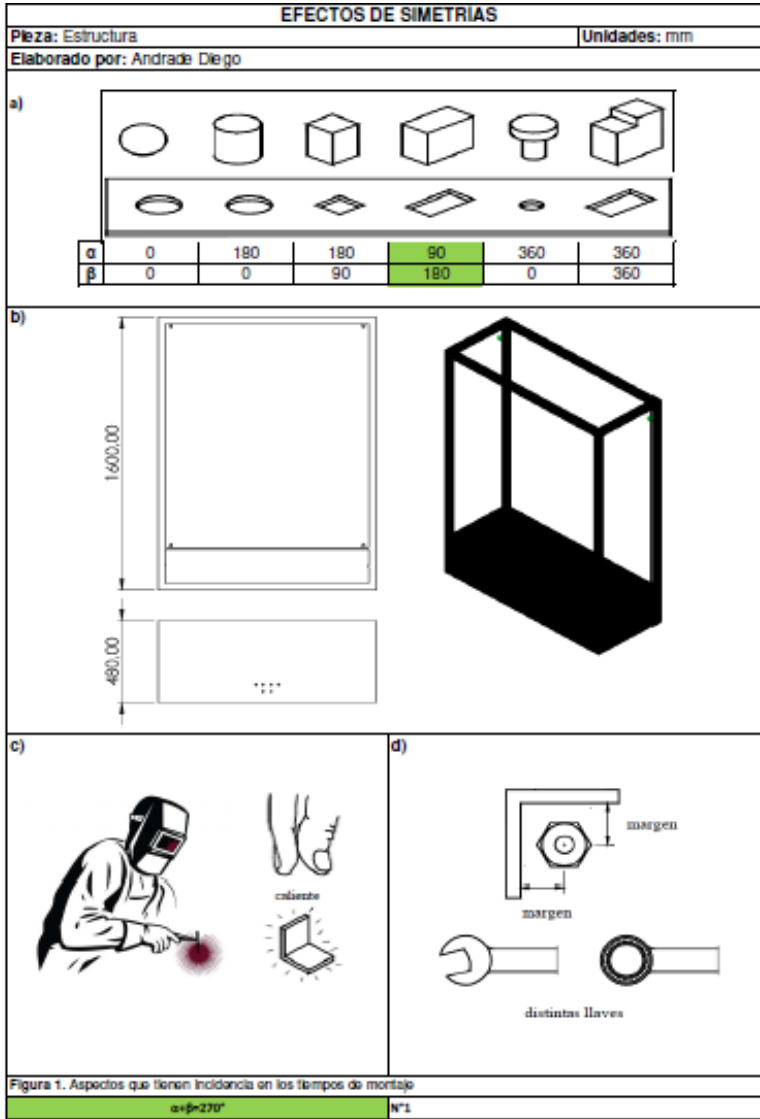
Máquina comercializada



Máquina propuesta



# EFFECTOS DE SIMETRIA



- Piezas que pueden ser manipuladas por una mano sin ayuda de útiles
- Piezas que pueden ser manipuladas por una mano con ayuda de útiles
- Piezas flexibles que pueden cogerse con una mano con o sin útiles
- Piezas grandes que requieren dos manos para la prensión y el transporte
- Piezas montadas, pero no aseguradas
- Piezas montadas y aseguradas inmediatamente
- Operaciones sobre piezas montadas



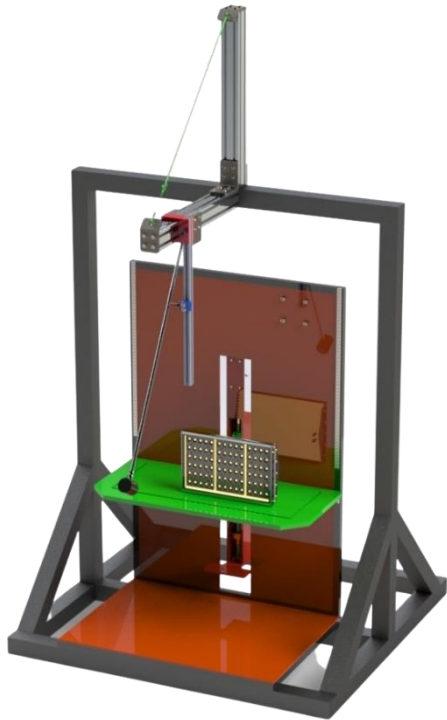


# EVALUACIÓN PARA EL MONTAJE

$$E_{ma} = \frac{N_{min} \times t_a}{t_{ma}}$$

Máquina comercializada

$$E_{ma} = 60,60\%$$



Máquina propuesta

$$E_{ma} = 67,80\%$$



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# CONCLUSIONES

- Se determino por medio del método de la ingeniería concurrente las funciones que cumplan con las necesidades del cliente y los parámetros que el profesional puede involucrar en el área de diseño.
- Se desarrollo que el producto final en este caso el sistema de ensayo a carga de impacto IK tenga una mejor calidad en comparación con la competencia y se reduzcan los tiempos de producción con la finalidad de verse evidenciado en la reducción de costos y en la repetición de procesos.
- La minuciosa selección del material dio inicio al proceso del diseño ya que contribuye con información de características mecánicas y si estas son positivas en el rendimiento del producto, acabados superficiales, impacto medioambiental y costos de obtención del mismo
- La fabricación está pensada en abaratar costos es por eso que mediante una investigación de campo se obtuvo que el mayor porcentaje del sector industrial utiliza maquinas semiautomática por ejemplo torno, fresa, taladro de pedestal, entre otros, es así que ciertas piezas como el péndulo y el martillo de impacto se construirán por este medio
- El montaje se lo realiza de forma manual considerando la manipulación de componentes, uniones, operaciones de ajustes para poner el sistema de ensayo a impacto en función del trabajo que fue ideado, es así que los efectos de simetría  $\alpha$  y  $\beta$  de las piezas del producto dictaminan los tiempos de manipulación con una o ambas manos



# RECOMENDACIONES

- Realizar un diseño conceptual con un correcto despliegue de la función de la calidad para así tener una máquina orientada a las necesidades del cliente de forma que cumpla con su trabajo.
- Realizar diferentes tipos de mallados al cuerpo con criterios ingenieriles para disminuir el consumo de recursos computacionales, pero obteniendo resultados correctos y evitar errores de convergencia al sobrepasar la resolución de los modelos matemáticos por medio del software.
- Ayudarse por medio de las guías de referencia, diagramas de análisis de operación, símbolos de diagramas de flujo y diagramas hombre-máquina para la fabricación de las diferentes piezas del sistema de impacto.
- Realizar mediciones del tiempo de fabricación de las piezas mediante un procedimiento experimental de error e incertidumbre redondeando estos valores para tener tres decimales.



***La disciplina, tarde o temprano, vencerá a la inteligencia.***

**Yokoi Kenji**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Gracias



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA