



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

# DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

## CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOBLADORA DE SUPERFICIES CILÍNDRICAS MULTIFUNCIONAL, MEDIANTE SOFTWARE CAE, PARA EL SECTOR METALMECÁNICO”**

**AUTOR: SALAZAR GUANO, CARLOS ANDRÉS**  
**DIRECTOR: ING. ACUÑA COELLO, FAUSTO VINICIO**



INTRODUCCIÓN

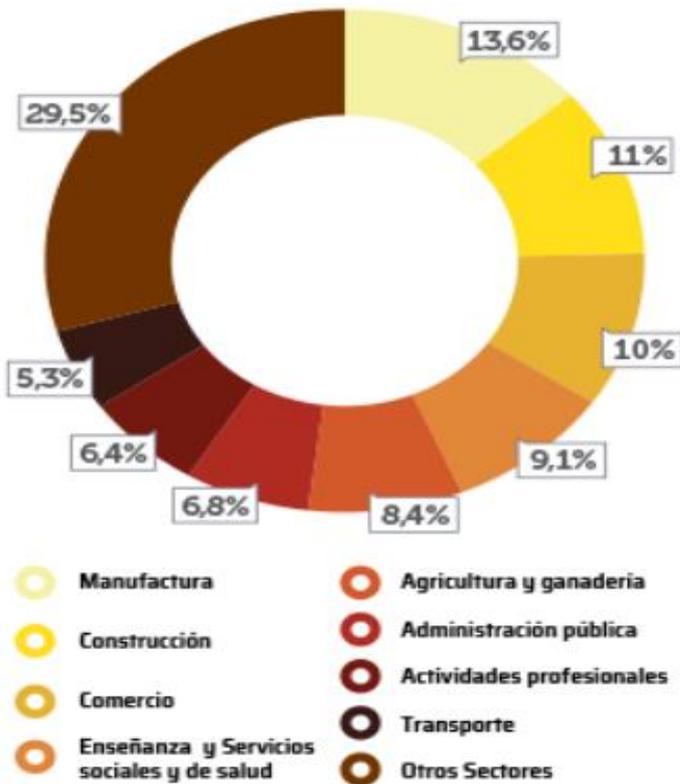
METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

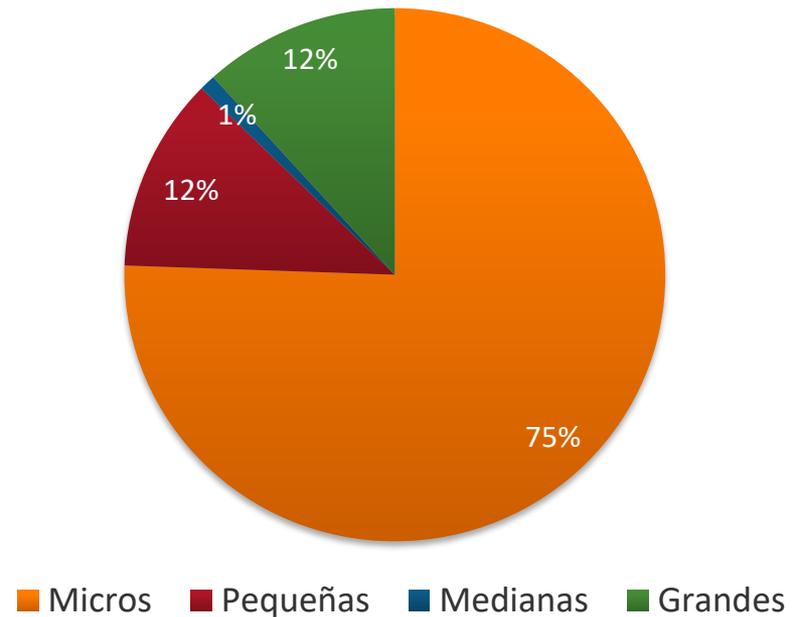
CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

# INTRODUCCIÓN

Participación en la economía del País



Sector Metalmecánico



# DOBLADORA DE TUBOS, ESTRIBOS

## Manual



Proceso de conformación en frío que produce una curva permanente de acuerdo con la forma de una matriz.

## Automático



La máquina puede doblar barras de refuerzo y acero dentro de  $180^\circ$  en diferentes formas de acuerdo con diferentes configuraciones, por ejemplo, triángulo, cuadrángulo, circular.

# PROBLEMÁTICA

El doblado de estructuras como tubos, varillas y estribos se realiza de manera artesanal.

Las grandes empresas poseen maquinaria de alta tecnología, siendo adquiridas a precios altos

Las pequeñas y medianas industrias no están al alcance de realizar una inversión de este tipo.

Con el diseño de una máquina multifuncional se podrá realizar la construcción en el país a menor costo.

Mejoraría el desarrollo de la matriz productiva del país, por su alto nivel de relación con otros sectores industriales

# OBJETIVOS

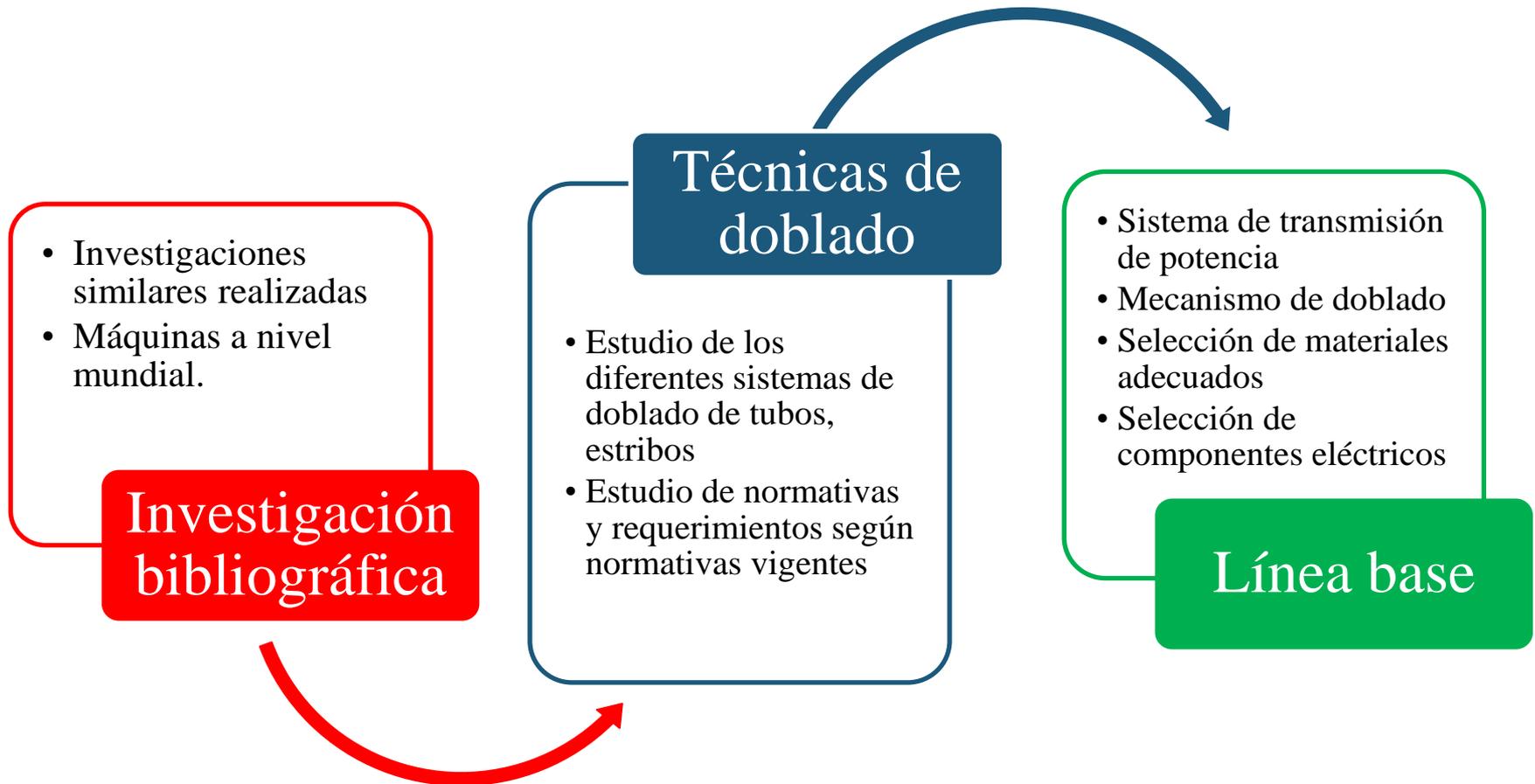
## Objetivo General

- Analizar y evaluar el diseño de una máquina dobladora de superficies cilíndricas multifuncional, mediante software CAE, para el sector metalmecánico.

# Objetivos Específicos

- Diseñar la máquina dobladora multifuncional de superficies curvas para el sector metalmecánico.
- Analizar el diseño de la máquina mediante software CAE.
- Evaluar la maquina técnica y económicamente para determinar la factibilidad de la construcción de la misma.

# METODOLOGÍA



# METODOLOGÍA

- Torque de doblado de tubo adecuado.
- Determinación de potencia de motor.
- Diseño de sistema de transmisión mediante engranes .
- Cálculo de diámetro mínimo de ejes.

Cálculo

Diseño en software CAD

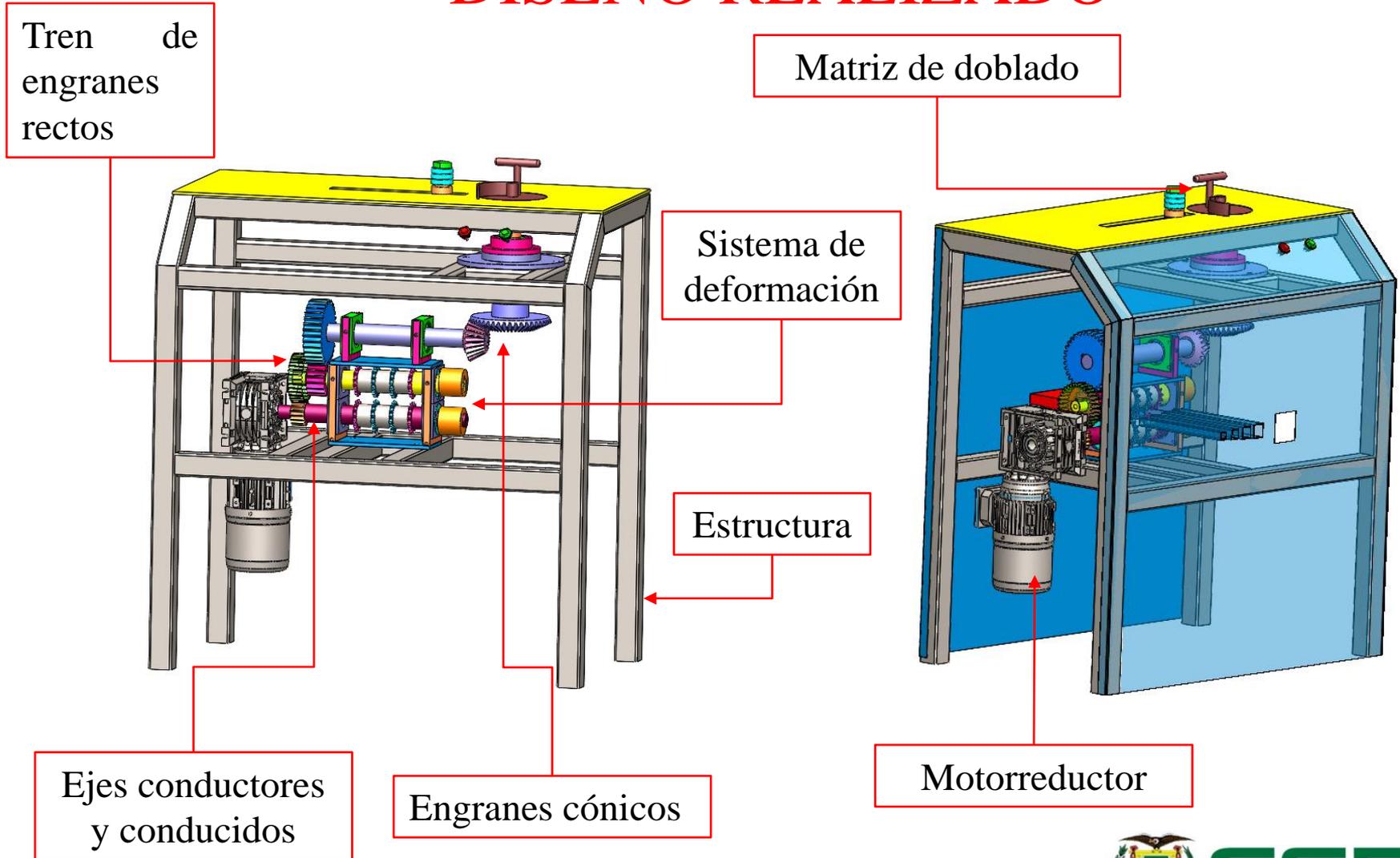
- Modelamiento de sistema de transmisión .
- Modelamiento de ejes
- Diseño de cajas para rodamientos.
- Diseño de estructura base.

- Comprobación de torque máximo de doblado.
- Estudio de reducciones de velocidad en cada etapa del tren engranes.
- Estudio de esfuerzos de flexión en engranes
- Simulación de flexión y torsión en los ejes diseñados.
- Análisis y evaluación de perfiles estructurales
- Selección de componentes eléctricos.

Análisis mediante software CAE



# DISEÑO REALIZADO



# TORQUE PARA DOBLADO DE TUBO

## MOMENTO DE DOBLADO

$$M = f_s \sigma_s W \left( 1.41 + \frac{0.42}{R/D} \right)$$

$$M = 1,5 \times 250e6 \times \left( 0.1 \frac{40e-3}{36e-3} \right) \times \left( 1.41 + \frac{0.42}{3} \right)$$

$$M = 1720 \text{ Nm}$$

## POTENCIA DE DOBLADO

$$P = T \times w$$

$$P = 1720 \times 0.8 \text{ rad/s}$$

$$P = 1376 \text{ W} = 1.8 \text{ hp}$$

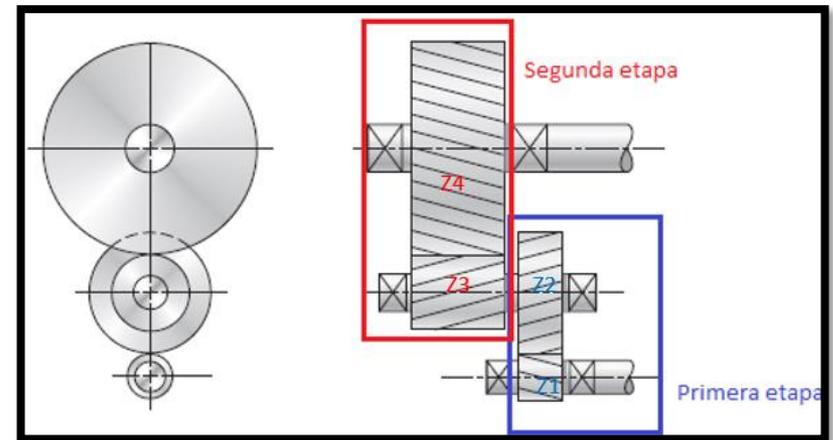


# DISEÑO DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Cadena cinemática compuesta por engranajes reductores que transmitirán la potencia y a la vez disminuirán la velocidad del motor eléctrico a la requerida

La primera etapa tiene una velocidad de entrada de 61rpm y una salida de 16 rpm

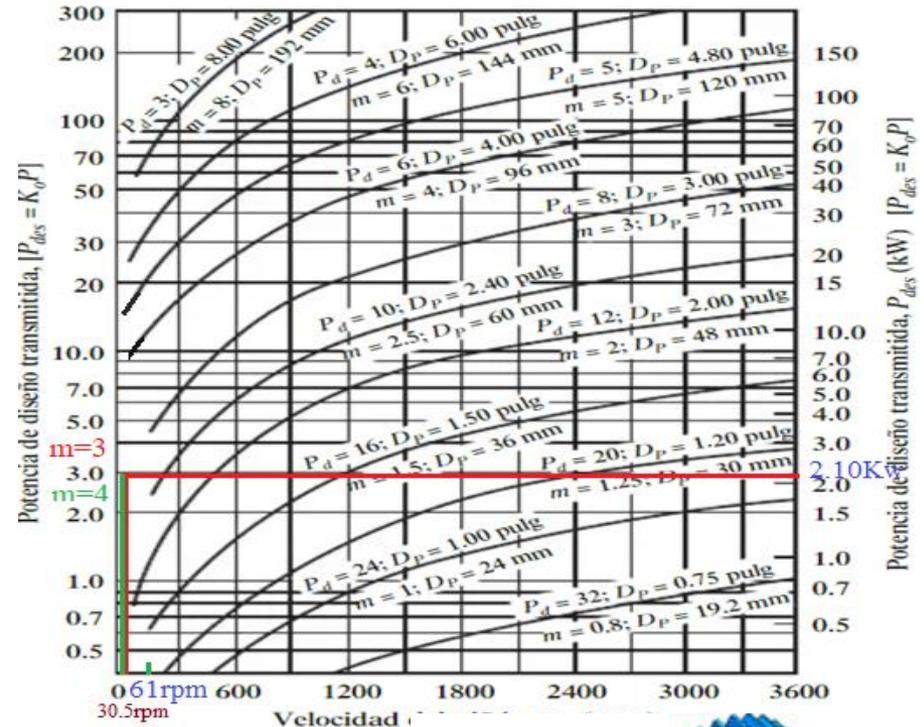
La segunda etapa consta de 16rpm como velocidad in. Y una velocidad out de 8rpm.



# PARÁMETROS DE DISEÑO DE ENGRANES

$$e = \frac{Z_1}{Z_2} \times \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{W_{in}}{W_{ou}}$$

$$W_{out} = \frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{Z_4}{Z_3} \times W_{in}$$



Z	Y	m (mm)	w (rpm)	d (mm)	F (mm)	V (m/s)	$K_v$
Z1	17	0.303	3	61	51	30	1.04
Z2	34	0.371	3	30.50	102	30	1.04
Z3	17	0.303	4	30.50	68	40	1.02
Z4	34	0.371	4	15.25	136	40	1.02



# POTENCIAS MÁXIMAS EN LOS ENGRANES

- Acero AISI 1040 laminado en frío

$$W_{max}^t = \frac{\sigma_{perm} F m Y}{K_v}$$

$$n_{er} = \frac{P_{max} (hp)}{P_{in} (hp)}$$

	$W_{max}^t (N)$	$P_{max} (W)$	$P_{max} (hp)$	$n_{er}$
1	6133.06	55.74	1.42	.77
2	7509.46	1262.67	1.733	.94
3	12058.4	1014.84	1.36	.74
4	14764.6	1242.59	1.67	.91

# SISTEMA DE DOBLADO

Transmisión de movimiento entre ejes que se cortan se usan engranes cónicos.



Se aplica una relación de dos a uno para obtener a la salida 8rpm

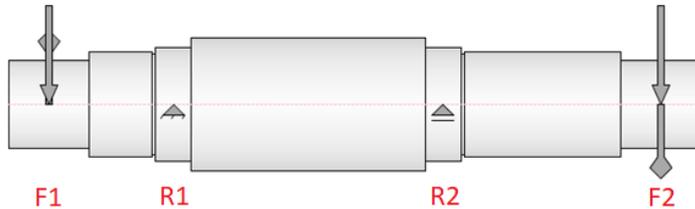


	Z	Z'	Y	w (rpm)	d (mm)	F (mm)	V (m/s)	$K_v$
Z1	22	40	0.39	16	82	40	0.090	1.01
Z2	44	80	0.44	8	170	40	0.180	1.03

	$W_{max}^t (N)$	$P_{max} (W)$	$P_{max} (hp)$	$n_{erc}$
1	17052.56	1542.88	0.86	0.5
2	18961.65	3431.22	1.62	0.9

# DISEÑO DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

## EJE



Índice	Fuerza radial				Torque
	Y	X	Magnitud	Dirección	
F1					920.84 N m
F1	10833.39 N	-3943.03 N	11528.65 N	200 deg	
F2	17052.57 N	6206.63 N	18146.97 N	20 deg	
F2					-920.84 N m

- Momento máximo total:

$$M_{max} = 2204.86 \text{ Nm}$$

- Torsión máxima:

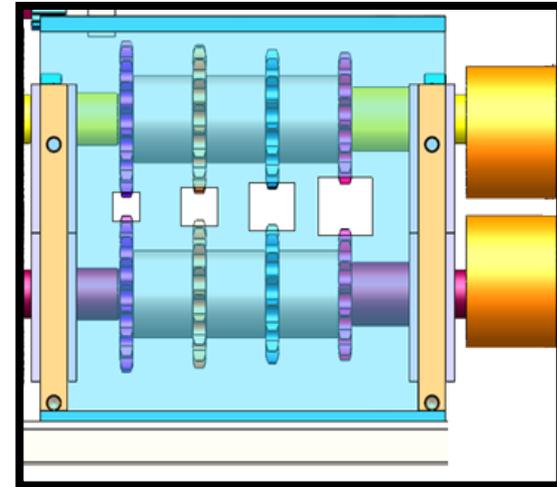
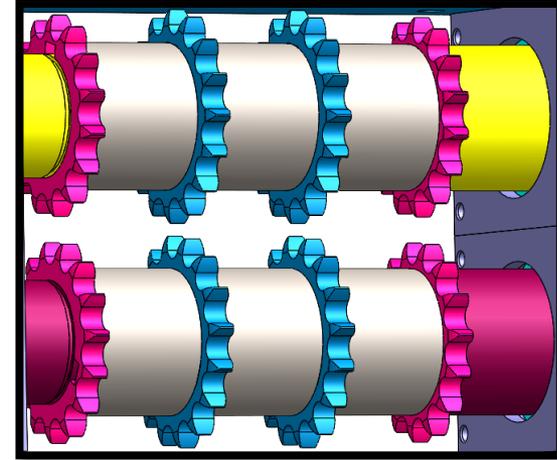
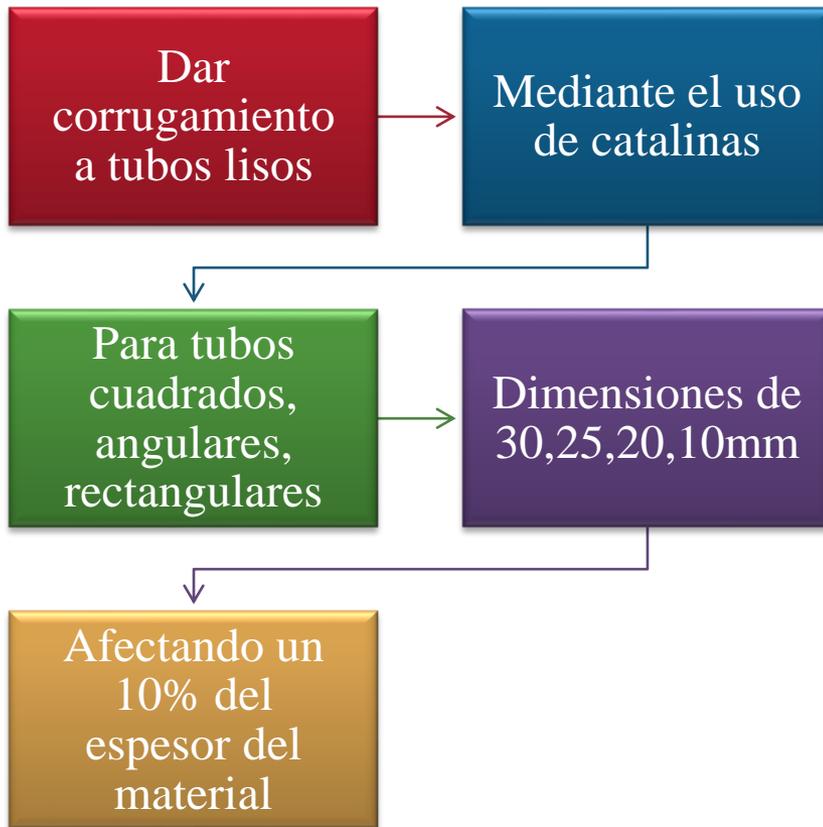
$$T_{max} = 920.83 \text{ Nm}$$

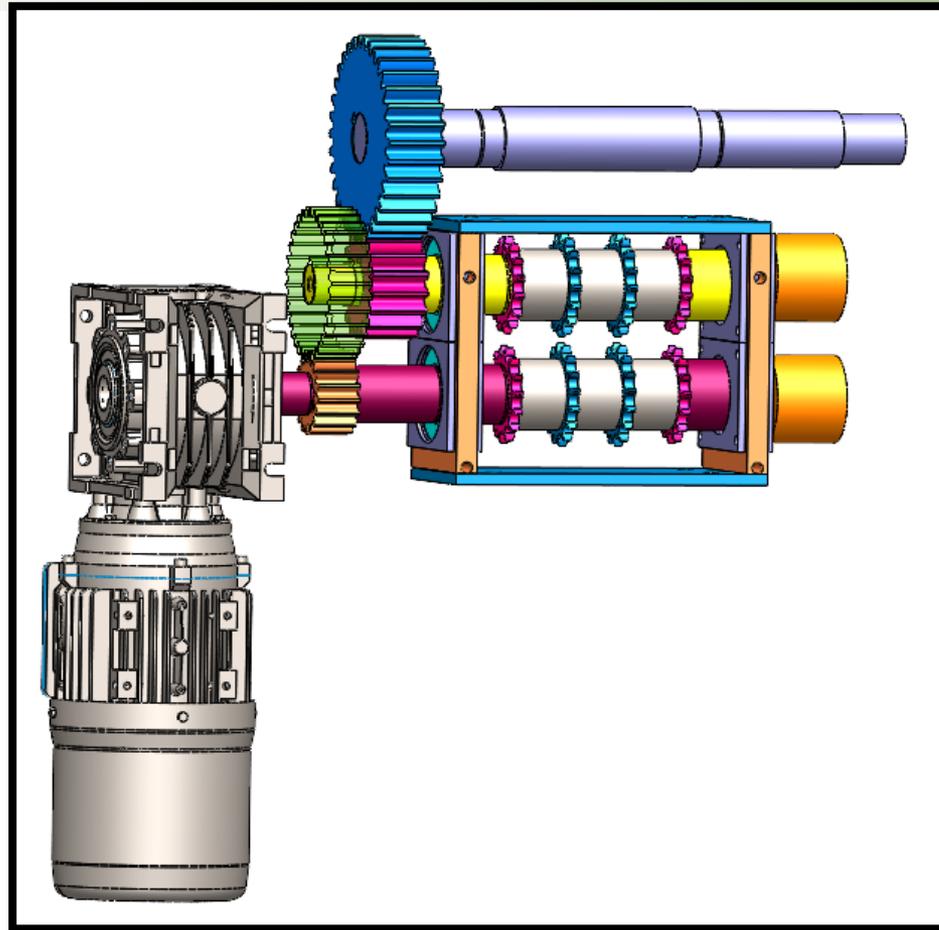
- Diámetro mínimo:

$$d = 42.2 \text{ mm}$$

Índice	Tipo	Fuerzas de reacción			
		Y	X	Magnitud	Dirección
R1	Fijo	-29678.79 N	-10802.19 N	31583.51 N	200 deg
R2	Deslizante	35897.97 N	13065.79 N	38201.82 N	20 deg

# DISEÑO ESTETICO TUBOS LISOS





- Diseño en software CAD del tren de engranes y la transmisión de movimiento; además del sistema para dar forma estética a tubos lisos.

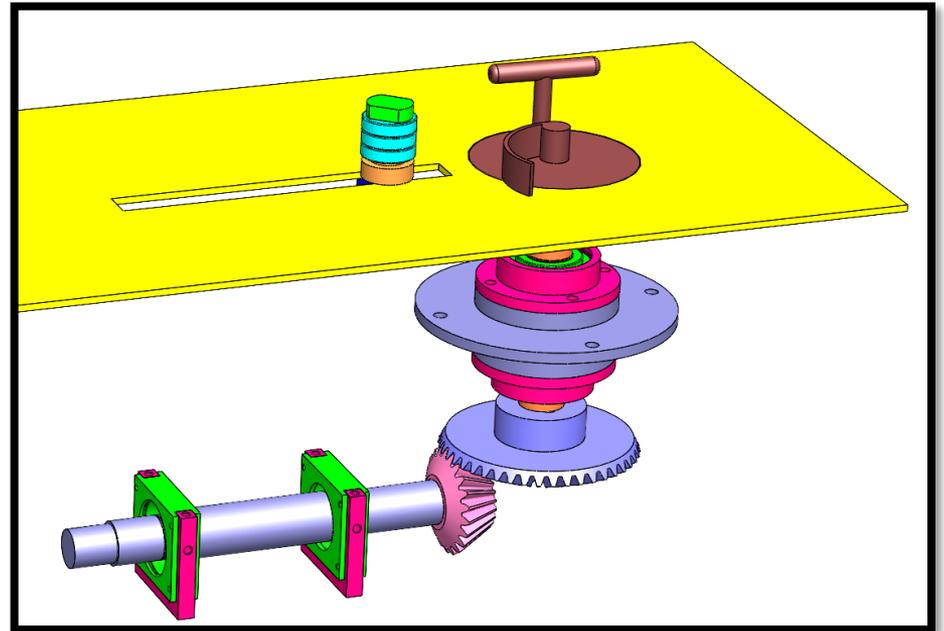
# MATRIZ DE DOBLADO

Según normativa NTE  
INEN 0134



Matrices cambiables  
con diferentes perfiles

Díámetro nominal del tubo	Radio de mandril en mm
3/8 DN 10	50
1/2 DN 13	60
3/4 DN 20	80
1 DN 25	100
1 1/4 DN 32	150
1 1/2 DN 40	170
2 DN 50	210



# SELECCIÓN MOTOR ELÉCTRICO

- Potencia de doblado:

$$P = 1.8 \text{ hp}$$

- Potencia requerida por el motor:

$$P_{req} = \frac{1.8}{0.91 * 0.9 * 0.98} = 2 \text{ hp}$$

- Caja reductora a 61 rpm

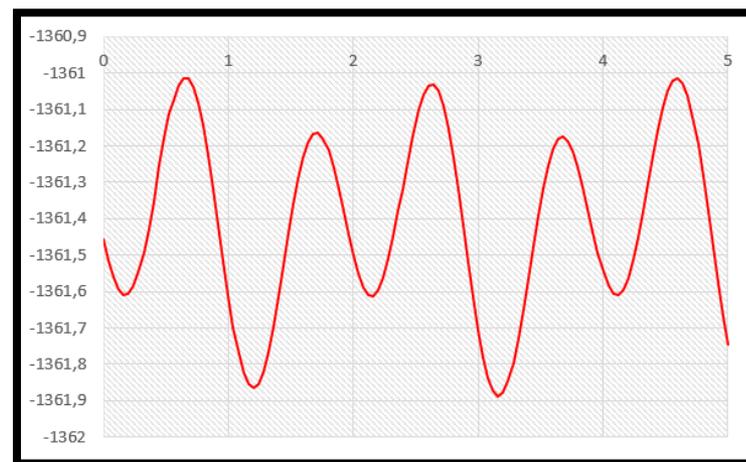
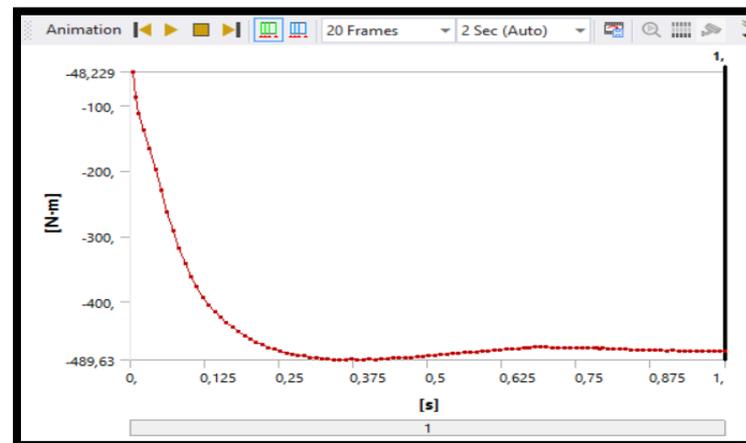


# ANÁLISIS DE RESULTADOS



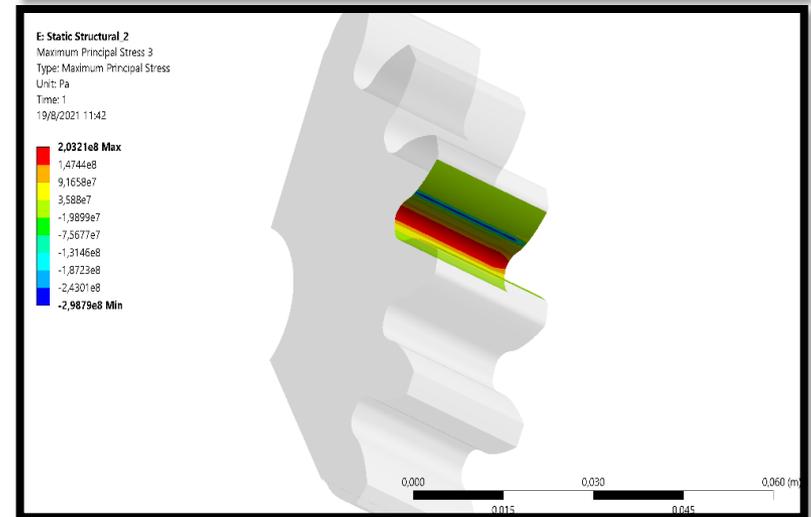
# TORQUE Y POTENCIA DE DOBLADO

	CALCULADO	SOFTWARE	DIFERENCIA
Momento para doblado	1020 Nm	972 Nm	0,056
Potencia de motor	1376 W	1362 W	0,01
Velocidad de giro	8 rpm	7,63 rpm	0,04



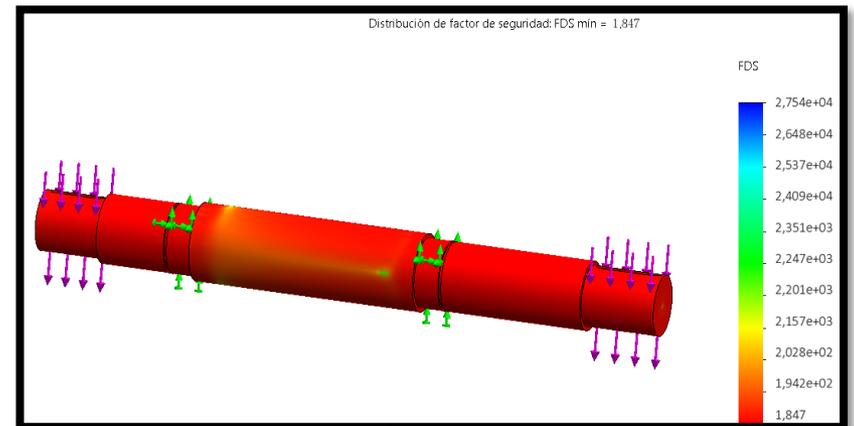
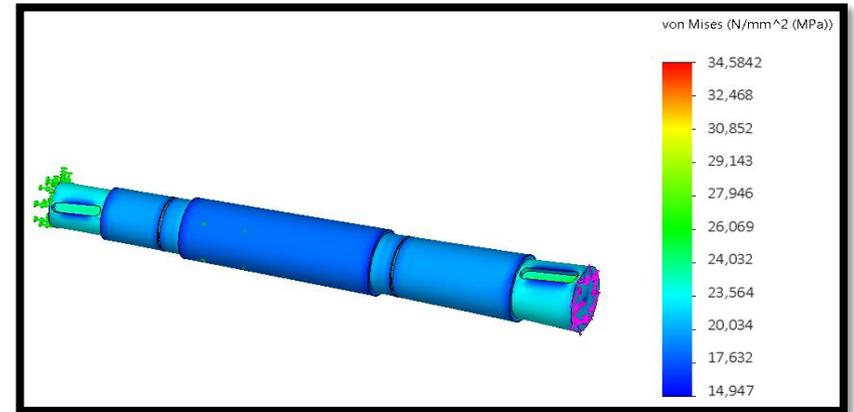
# POTENCIAS MÁXIMAS EN LOS ENGRANES

	CALCULADO	SOFTWARE	DIFERENCIA
Esfuerzo principal máximo engrane	187,95 MPa	191,38 MPa	0,018
Esfuerzo principal máximo piñón	217,21 MPa	230,13 MPa	0,056



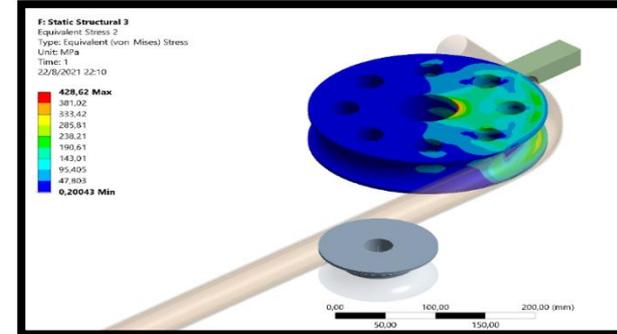
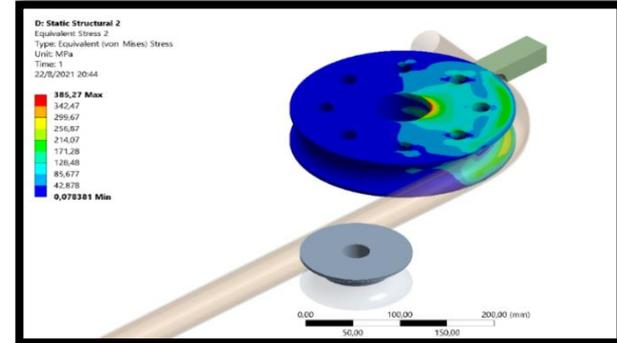
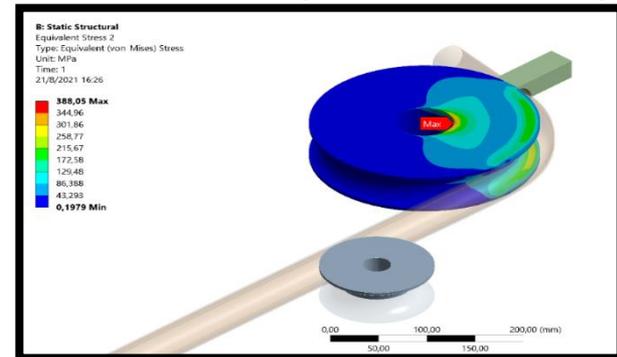
# ANÁLISIS DE EJES DE TRANSMISION DE MOVIMIENTO

	CALCULADO	SOFTWARE	ADMISIBLE
Esfuerzo de flexión total	104,28 MPa	108,17 MPa	290 MPa
Ángulo deflexión total	--	0,0772°	0,091°
Esfuerzo torsional total	37,52 MPa	34,59 MPa	--
Factor de seguridad	2	1,85	--



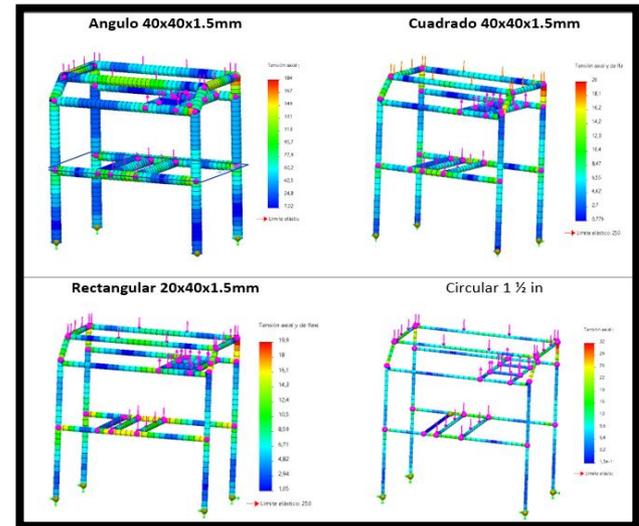
# ESTUDIO DE LA MATRIZ DE DOBLADO

Estudio	Esfuerzo equivalente (MPa)	Factor de seguridad
Matriz con geometría completa	378,05	1,3
Matriz con agujeros 20mm	395,27	1,24
Matriz con agujeros 30mm	478,62	1,02



# EVALUACIÓN DE PERFILES ESTRUCTURALES

Perfil	Tensión (MPa)		Deformación (mm)	
	1,5mm	2mm	1.5mm	2mm
Ángulo	54	41	1,52	1,44
Cuadrado	20	17	0,30	0,24
Rectangular	22	15	0,23	0,20
Circular	32	27	0,52	0,43



	Tamaño	Espesor	Disponibilidad	Costo
Rectangular	20*40mm	1,5mm	Muy buena	\$ 12,70

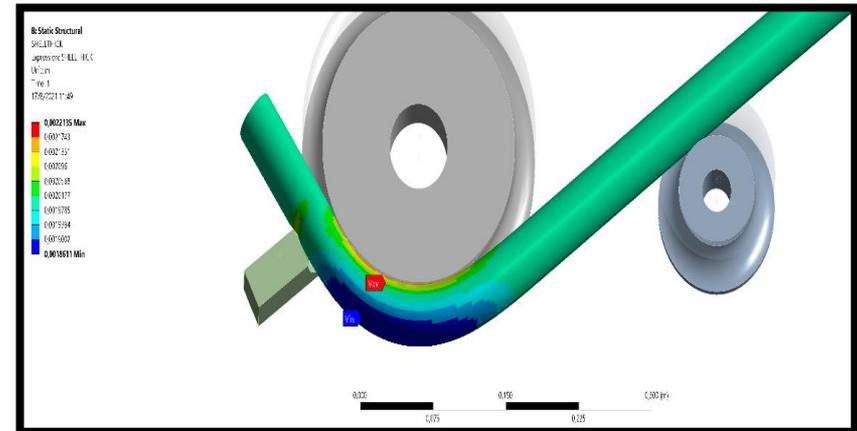
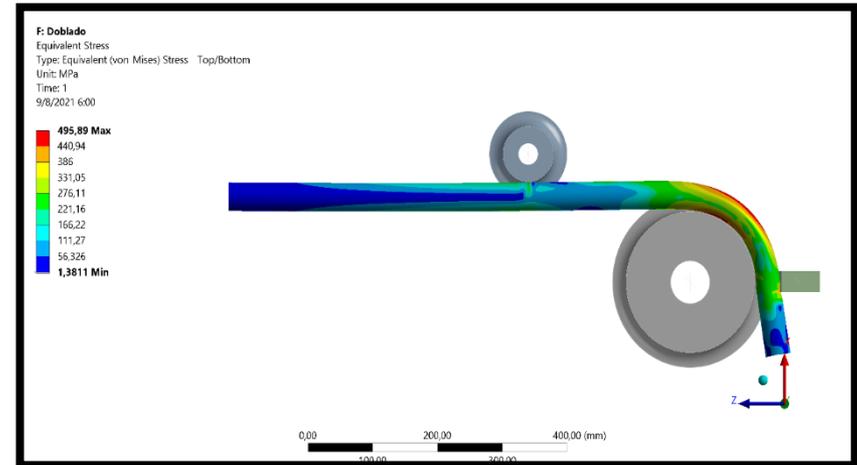
Nombre de estudio: RESONANCIA

Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	0.029371	0.0046745	213.93
2	0.017582	0.0027983	357.36
3	0.0077112	0.0012273	814.82
4	0.0079945	0.0012724	785.94
5	0.022047	0.0035089	284.99

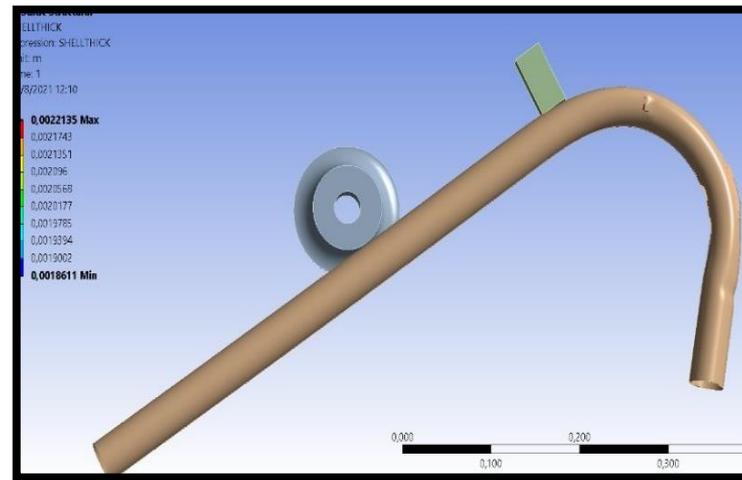
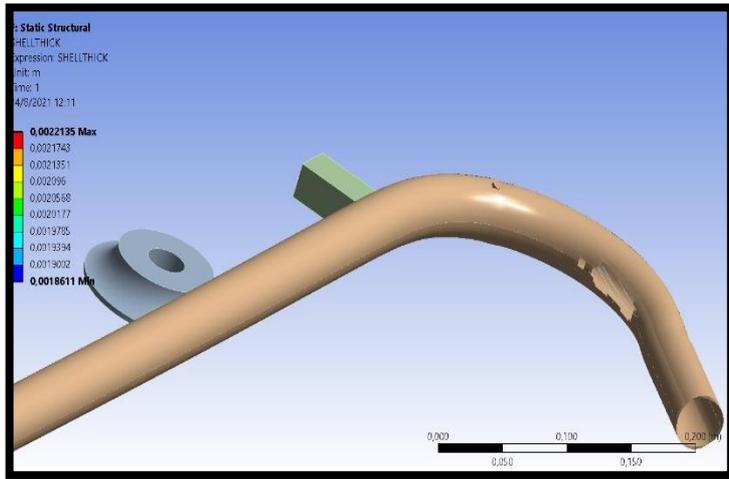


# ANÁLISIS DEL DOBLADO

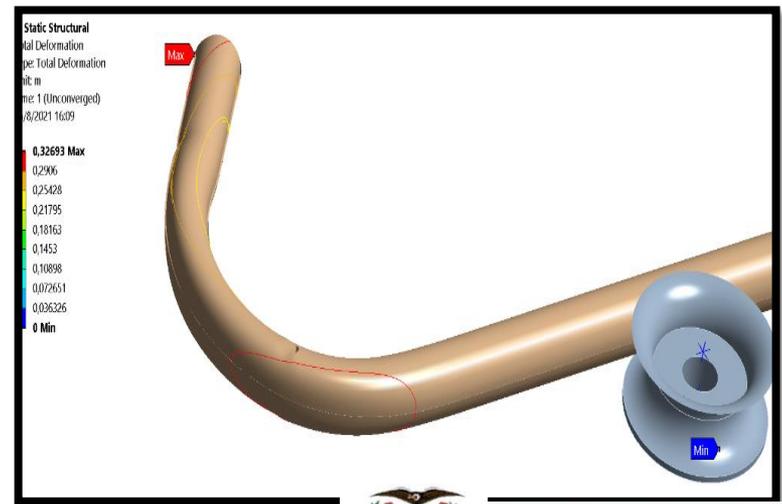
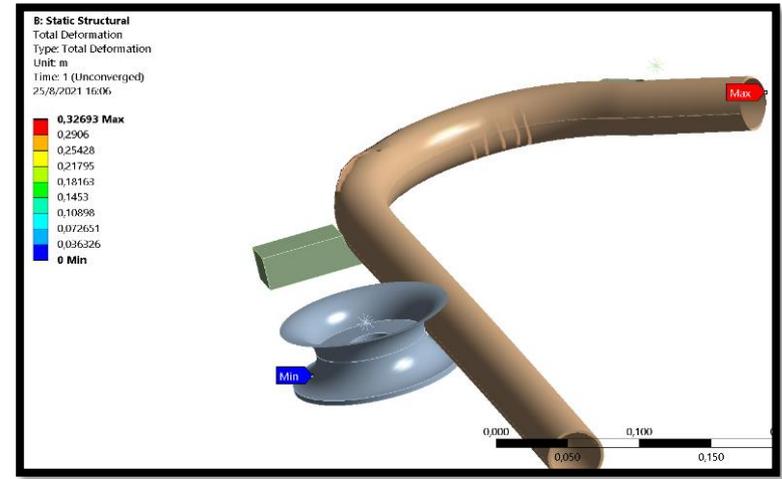
- El esfuerzo de fluencia resultante es de **469.89 MPa**.
- Para un material acero A36 es **250 MPa**.
- El tubo entró en la zona plástica.
- Para un ángulo de dobles de **90°**.
- En la zona de contacto del tubo y la matriz existe un aumento del espesor a **2.2mm**.
- En la zona exterior se aprecia una reducción del espesor de **1.86mm**.



# Ángulo de doblado a 150° y 2mm de espesor



# Ángulo de doblado a 150° y 3mm de espesor



# COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

DETALLE DE ACTIVIDADES				
DISEÑO	COSTOS ELÉCTRICOS	COSTOS MECÁNICOS	COSTOS DE DISEÑO Y MECANIZADO	TOTAL
Máquina dobladora multifuncional	\$ 821,78	\$ 838,59	\$ 1850	\$ 3510,37

Análisis Financiero - Viabilidad	Detalles
Depreciación anual (Vida útil 9 años)	\$ 317,70
Beneficio anual	\$ 2184
Tiempo de recuperación (años)	1,6

## CONCLUSIONES

- Se diseñó una máquina multifuncional de superficies curvas para el sector metalmecánico, mediante el uso de software CAD/CAE y se analizó su estructura electromecánica obteniéndose los siguientes resultados: Para ejecutar el trabajo de doblado se necesitará un motor de potencia 2Hp a una velocidad de 7.63 rpm obteniendo un torque de 1720 Nm permitiendo doblar estribos y tubos de 1 ½ in a un ángulo máximo de 150°.
- Se diseñó un sistema mecánico de tren de engranes que consta de una primera etapa con engranes rectos encargados de reducir la velocidad a 15.8 rpm y transmitir el movimiento hacia un juego de engranes cónicos de módulo 4mm y 5mm, obteniendo una velocidad final de 7.63 rpm, misma que es transmitida a la matriz de doblado.
- Se diseñó un sistema de control y fuerza que consta de un cable conductor 10 AWG termoplástico resistente al calor con una temperatura máxima de 90° para una corriente normalizada de 31.95 A. Se determinó dos contactores para la inversión de giro de categoría AC3 con una corriente nominal de 9A con alimentación a 220V. Estableciendo dos switch de pedal para facilitar el accionamiento de la máquina al operador.

- En el análisis CAE realizado a un tubo de 38,1 mm de diámetro con espesor de 1.5mm y 90° de doblado se observó que se produce una expansión en el material en la parte externa del 7%, mientras que en la interna se llegó a comprimir en un 10%, considerando que se aplicó un toque de 1720 Nm, mismo que permitió superar el límite de elasticidad del material para deformarlo de manera correcta.
- La dobladora multifuncional de superficies curvas en el escenario de construcción necesitaría un valor de 3510.37 \$ dólares americanos, los cuales se recuperaría en un tiempo de 18 meses a una producción mensual de 182 \$ dólares americanos, lo que significa que el proyecto es rentable para una metalmecánica del sector, ya que su inversión sería recuperada a corto plazo.

# RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de control de velocidad, debido a que la máquina llega a doblar diferentes perfiles en cuanto a dimensiones y espesores.
- Debido a la variación de trabajo en el sector metalmecánico artesanal se recomienda establecer un diseño para facilitar el traslado, nivelación y anclaje de la máquina de acuerdo a las necesidades del operador.
- Analizar mediante software CAE nuevos perfiles de tubos como son en ángulo, cuadrado, etc.; para visualizar posibles fallas que se producirían bajo las condiciones de operatividad establecidas en el diseño de la máquina.
- Manufacturar la dobladora multifuncional ya que en el mercado ecuatoriano no se dispone y serviría para el crecimiento de la pequeña industria metalmecánica.

**GRACIAS**



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