



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA  
DOBLADORA DE PLATINAS DE ACERO INOXIDABLE PARA  
MOLDES DE QUESO DE 500 y 1000 g VALIDANDO EL  
COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL MEDIANTE  
SIMULACIÓN EN LS-DYNA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

ALEX FABRICIO DÍAZ BARAHONA

DIMAR NEPTALI PRUNA JÁCOME

Riobamba – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA  
DOBLADORA DE PLATINAS DE ACERO INOXIDABLE PARA  
MOLDES DE QUESO DE 500 y 1000 g VALIDANDO EL  
COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL MEDIANTE  
SIMULACIÓN EN LS-DYNA**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: ALEX FABRICIO DÍAZ BARAHONA**

**DIMAR NEPTALI PRUNA JÁCOME**

**DIRECTOR: Ing. MARÍA VERÓNICA ALBUJA LANDI MSc.**

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Alex Fabricio Díaz Barahona & Dimar Neptali Pruna Jácome

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Alex Fabricio Díaz Barahona y Dimar Neptali Pruna Jácome, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de noviembre del 2024



**Alex Fabricio Díaz Barahona**

**0605670025**



**Dimar Neptali Pruna Jácome**

**0550422901**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA DOBLADORA DE PLATINAS DE ACERO INOXIDABLE PARA MOLDES DE QUESO DE 500 y 1000 g VALIDANDO EL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL MEDIANTE SIMULACIÓN EN LS-DYNA**, realizado por los señores: **ALEX FABRICIO DÍAZ BARAHONA** y **DIMAR NEPTALI PRUNA JÁCOME**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez, Mgtr. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-11-28
Ing. María Verónica Albuja Landi, Mgtr. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-11-28
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba, Mgtr. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-11-28

## **DEDICATORIA**

Dedicado para toda mi familia quienes siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional en los momentos difíciles y enseñándome a enfrentar los desafíos que se presentan en el camino. También dedicado para mis amigos por su apoyo constante y por las lecciones valiosas que me han enseñado a lo largo de esta travesía.

Alex

Dedicado a mis padres y hermanos los cuales me han apoyado incondicionalmente en cada decisión que he tomado a lo largo de estos años, en los cuales han puesto su confianza siempre en mí, también gracias a su esfuerzo me han permitido estudiar sin tantas preocupaciones esta carrera.

Dimar

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial a mi familia, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. También quiero agradecer a mis amigos por los momentos compartidos, tanto dentro como fuera de la institución. Además, quiero reconocer y agradecer a mi tutor y asesor por su paciencia y apoyo constante.

Alex

Un agradecimiento a mis padres y hermanos los cuales han sido la principal razón por la cual he podido realizar diferentes actividades y objetivos sin tanta dificultad gracias a su total apoyo. A mis profesores los cuales han dado una parte de su conocimiento para inculcar a los estudiantes de la mejor manera posible. Además, agradezco a mi compañero de tesis ya que fue fundamental para alcanzar este logro tan importante para mí.

Dimar

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xx
RESUMEN.....	xxii
SUMMARY .....	xxiii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Justificación .....</b>	<b>3</b>
<i>1.2.1. Justificación teórica .....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2. Justificación metodológica .....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.3. Justificación práctica .....</i>	<i>3</i>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<i>1.3.1. Objetivo general .....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO REFERENCIAL .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Marco conceptual .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Marco teórico.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1. Moldes de queso .....</b>	<b>5</b>
<i>2.2.1.1. Material de los moldes.....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.1.2. Formas y tamaños de moldes de queso.....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.1.3. Características especiales.....</i>	<i>7</i>
<b>2.2.2. Normas INEN para la producción y procesamiento de quesos .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3. Aceros inoxidables grado alimenticio.....</b>	<b>7</b>
<i>2.2.3.1. Características generales de los aceros inoxidables .....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.3.2. Propiedades físicas y mecánicas de aceros inoxidables.....</i>	<i>8</i>

2.2.3.3.	<i>Selección de aceros inoxidables en la industria alimenticia</i>	9
2.2.3.4.	<i>Familias de aceros inoxidables y sus propiedades</i>	9
2.2.3.5.	<i>Acero Inoxidable austenítico 304</i>	10
<b>2.2.4.</b>	<b><i>Sistema de transmisión de potencia por cadena</i></b>	10
<b>2.2.5.</b>	<b><i>Plegado en “L” de platinas</i></b>	11
<b>2.2.6.</b>	<b><i>Selección de motor y motorreductor</i></b>	12
2.2.6.1.	<i>Requisitos de potencia y par de torsión</i>	12
2.2.6.2.	<i>Par de salida nominal</i>	13
<b>2.2.7.</b>	<b><i>Diseño de ejes</i></b>	13
2.2.7.1.	<i>Límite de resistencia a la fatiga</i>	14
2.2.7.2.	<i>Concentración del esfuerzo y sensibilidad a la muesca</i>	14
<b>2.2.8.</b>	<b><i>Selección de rodamientos</i></b>	15
<b>2.2.9.</b>	<b><i>Selección de catalinas y cadena</i></b>	17
2.2.9.1.	<i>Cálculo de la potencia</i>	17
2.2.9.2.	<i>Número de cadena</i>	18
2.2.9.3.	<i>Cálculo de la relación de transmisión</i>	18
2.2.9.4.	<i>Número de dientes de la catalina menor en base a la potencia</i>	18
2.2.9.5.	<i>Cálculo de números de dientes de la catalina mayor</i>	18
2.2.9.6.	<i>Distancia entre centros</i>	19
2.2.9.7.	<i>Longitud de cadena</i>	19
2.2.9.8.	<i>Número de eslabones</i>	19
2.2.9.9.	<i>Corrección de distancia entre centros</i>	20
<b>2.2.10.</b>	<b><i>Diseño de chavetas</i></b>	20
2.2.10.1.	<i>Diseño a corte</i>	20
2.2.10.2.	<i>Diseño a compresión</i>	21
<b>2.2.11.</b>	<b><i>Motorreductores</i></b>	22
2.2.11.1.	<i>Funcionamiento de un Motorreductor</i>	22
2.2.11.2.	<i>Motorreductor de velocidad de engranes</i>	22
<b>2.2.12.</b>	<b><i>Motores paso a paso</i></b>	23
2.2.12.1.	<i>Funcionamiento</i>	23
<b>2.2.13.</b>	<b><i>Controladores industriales</i></b>	24
<b>2.2.14.</b>	<b><i>Sistema de control</i></b>	24
2.2.14.1.	<i>Sistema de control de lazo cerrado</i>	25
2.2.14.2.	<i>Sistema de control de lazo abierto</i>	25
<b>2.2.15.</b>	<b><i>Clasificación de los controladores industriales</i></b>	26
2.2.15.1.	<i>Control ON/OFF</i>	26

2.2.15.2.	<i>Control Proporcional</i> .....	27
2.2.15.3.	<i>Control proporcional e integral</i> .....	27
2.2.15.4.	<i>Control proporcional, integral y derivativo</i> .....	27
2.2.16.	<b><i>Lenguajes de programación para PLC</i></b> .....	28
2.2.16.1.	<i>Bloques de funciones</i> .....	28
2.2.16.2.	<i>Ladder Diagram</i> .....	28
2.2.16.3.	<i>GRAFCET o Secuencial</i> .....	29
2.2.17.	<b><i>Componentes neumáticos</i></b> .....	29
2.2.17.1.	<i>Compresores</i> .....	29
2.2.17.2.	<i>Cilindros neumáticos</i> .....	30
2.2.17.3.	<i>Válvulas direccionales</i> .....	31
2.2.18.	<b><i>Método de elementos finitos</i></b> .....	31
2.2.18.1.	<i>Terminología utilizados en el MEF</i> .....	31
2.2.18.2.	<i>Análisis lineal</i> .....	32
2.2.18.3.	<i>Análisis no lineal</i> .....	32
2.2.19.	<b><i>ANSYS y el módulo LS-Dyna</i></b> .....	32
2.2.20.	<b><i>Procesos de soldadura SMAW</i></b> .....	34

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	36
3.1.	<b>Definición del producto</b> .....	36
3.2.	<b>Metodología del diseño</b> .....	36
3.3.	<b>Análisis QFD</b> .....	37
3.3.1.	<b><i>Requerimientos del usuario</i></b> .....	37
3.3.1.1.	<b><i>Voz del usuario</i></b> .....	37
3.3.2.	<b><i>Requerimientos técnicos</i></b> .....	38
3.3.2.1.	<b><i>Voz del ingeniero</i></b> .....	38
3.3.2.2.	<b><i>Correlaciones</i></b> .....	38
3.3.3.	<b><i>Análisis de competencias</i></b> .....	39
3.3.3.1.	<b><i>Competencia 1</i></b> .....	39
3.3.3.2.	<b><i>Competencia 2</i></b> .....	40
3.3.3.3.	<b><i>Competencia 3</i></b> .....	40
3.3.4.	<b><i>Análisis de competitividad</i></b> .....	41
3.3.5.	<b><i>Evaluación técnica</i></b> .....	42
3.3.6.	<b><i>Compromisos técnicos</i></b> .....	43

3.3.7.	<i>Casa de calidad</i> .....	44
3.3.8.	<i>Especificaciones técnicas</i> .....	46
3.4.	<b>Diseño conceptual</b> .....	46
3.4.1.	<i>Análisis funcional</i> .....	47
3.4.2.	<i>Evaluación de la estructura funcional</i> .....	48
3.4.3.	<i>Matriz morfológica</i> .....	48
3.4.4.	<i>Generación de alternativas</i> .....	49
3.4.4.1.	<i>Alternativa 1</i> .....	49
3.4.4.2.	<i>Alternativa 2</i> .....	51
3.4.4.3.	<i>Alternativa 3</i> .....	52
3.5.	<b>Método ordinal corregido de criterios ponderados</b> .....	53
3.5.1.	<i>Criterios de evaluación de alternativas</i> .....	53
3.5.2.	<i>Evaluación de los pesos específicos de cada alternativa</i> .....	54
3.5.3.	<i>Evaluación de los pesos específicos de las diferentes soluciones para cada criterio</i> .....	54
3.5.4.	<i>Evaluación de la prioridad de las alternativas</i> .....	56
3.6.	<b>Diseño de Materialización</b> .....	56
3.6.1.	<i>Modelado 3D</i> .....	56
3.6.2.	<i>Características principales</i> .....	57
3.6.3.	<i>Selección de materiales</i> .....	57
3.6.3.1.	<i>Perfil estructural</i> .....	57
3.6.3.2.	<i>Barra lisa de acero comercial</i> .....	58
3.6.3.3.	<i>Planchas para cubierta de la estructura</i> .....	58
3.6.3.4.	<i>Platinas para aros de queso</i> .....	59
3.6.4.	<i>Cálculo de fuerza necesaria para el plegado en “L” de la platina</i> .....	59
3.6.5.	<i>Cálculos para selección de motor y motorreductor</i> .....	59
3.6.6.	<i>Diseño del eje Motorreductor-Piñón motriz</i> .....	62
3.6.7.	<i>Cálculos de diseño de chavetas</i> .....	67
3.6.7.1.	<i>Diseño a corte</i> .....	67
3.6.7.2.	<i>Diseño a compresión</i> .....	68
3.6.8.	<i>Selección de rodamientos</i> .....	70
3.6.8.1.	<i>Selección del rodamiento con la reacción mayor</i> .....	70
3.6.8.2.	<i>Vida Nominal</i> .....	71
3.6.8.3.	<i>Confiabilidad</i> .....	72
3.6.8.4.	<i>Factor de vida</i> .....	73
3.6.8.5.	<i>Factor de velocidad</i> .....	73
3.6.8.6.	<i>Capacidad requerida</i> .....	73

3.6.9.	<i>Selección cadenas y catalinas</i>	74
3.6.9.1.	<i>Potencia de diseño</i>	74
3.6.9.2.	<i>Número de la cadena</i>	75
3.6.9.3.	<i>Cálculo de la relación de transmisión</i>	76
3.6.9.4.	<i>Número de dientes de la catalina menor en base a la potencia</i>	77
3.6.9.5.	<i>Cálculo de números de dientes de la catalina mayor</i>	78
3.6.9.6.	<i>Distancia entre centros</i>	79
3.6.10.	<i>Construcción de la estructura de la máquina</i>	81
3.6.10.1.	<i>Cargas estructurales para soportar</i>	82
3.6.11.	<i>Mecanizado de elementos</i>	83
3.6.11.1.	<i>Torno convencional</i>	83
3.6.11.2.	<i>CNC</i>	84
3.6.12.	<i>Ensamblaje de la máquina dobladora de platinas</i>	85
3.6.13.	<i>Análisis CAE de la estructura</i>	87
3.6.13.1.	<i>Step</i>	87
3.6.13.2.	<i>Mallado</i>	87
3.6.13.3.	<i>Material</i>	88
3.6.13.4.	<i>Condiciones de contorno y cargas aplicadas</i>	88
3.6.14.	<i>Análisis CAE del eje interno de la palanca de doblez</i>	88
3.6.14.1.	<i>Step</i>	88
3.6.14.2.	<i>Mallado</i>	89
3.6.14.3.	<i>Material</i>	89
3.6.14.4.	<i>Condiciones de contorno y cargas aplicadas en el eje</i>	89
3.6.15.	<i>Análisis CAE de la pieza de sujeción</i>	89
3.6.15.1.	<i>Step</i>	89
3.6.15.2.	<i>Mallado</i>	90
3.6.15.3.	<i>Material</i>	90
3.6.15.4.	<i>Condiciones de contorno y cargas aplicadas</i>	91
3.6.16.	<i>Análisis CAE de la palanca de doblez</i>	91
3.6.16.1.	<i>Step</i>	91
3.6.16.2.	<i>Mallado</i>	92
3.6.16.3.	<i>Material</i>	92
3.6.16.4.	<i>Condiciones de contorno y cargas aplicadas</i>	92
3.6.17.	<i>Simulación del doblez de la platina en ANSYS LS-DYNA</i>	93
3.6.17.1.	<i>Step</i>	93
3.6.17.2.	<i>Material</i>	93

3.6.17.3. <i>Mallado</i> .....	94
3.6.17.4. <i>Contactos, juntas e interacciones</i> .....	94
3.6.17.5. <i>Condiciones de contorno y parámetros de simulación</i> .....	95
3.6.18. <i>Obtención de la fuerza de sujeción del pistón estáticamente</i> .....	95
3.6.19. <i>Obtención de la fuerza de sujeción del pistón mediante ADAMS</i> .....	96
3.6.20. <i>Selección del cilindro neumático</i> .....	98
3.6.21. <i>Conexión neumática</i> .....	99
3.6.22. <i>Selección de motor paso a paso</i> .....	100
3.6.23. <i>Selección del tornillo de bolas</i> .....	100
3.6.24. <i>Automatización</i> .....	101
3.6.24.1. <i>Secuencia de funcionamiento</i> .....	101
3.6.24.2. <i>Componentes</i> .....	102
3.6.24.3. <i>Código de programación</i> .....	103
3.6.24.4. <i>Diagramas de conexiones</i> .....	103
3.6.24.5. <i>Interfaz de pantalla</i> .....	104

## CAPÍTULO IV

<b>4. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	107
<b>4.1. Validación CAE de la estructura</b> .....	107
4.1.1. <i>Deformación</i> .....	107
4.1.2. <i>Esfuerzo</i> .....	107
4.1.3. <i>Factor de seguridad</i> .....	108
<b>4.2. Validación CAE de pieza de sujeción</b> .....	108
4.2.1. <i>Deformación</i> .....	108
4.2.2. <i>Esfuerzo</i> .....	109
4.2.3. <i>Factor de seguridad</i> .....	109
<b>4.3. Validación CAE de la palanca de sujeción</b> .....	110
4.3.1. <i>Deformación</i> .....	110
4.3.2. <i>Esfuerzo</i> .....	110
4.3.3. <i>Factor de seguridad</i> .....	111
<b>4.4. Validación CAE del eje interno de la palanca de doblez</b> .....	111
4.4.1. <i>Deformación</i> .....	111
4.4.2. <i>Esfuerzo y factor de seguridad</i> .....	112
4.4.3. <i>Coefficiente de seguridad</i> .....	112

<b>4.5.</b>	<b>Validación CAE de la Simulación del doblado de la platina en ANSYS LS-DYNA..</b>	113
	.....	
<b>4.5.1.</b>	<b>Movimiento del plegado de la platina</b>	113
<b>4.5.2.</b>	<b>Comportamiento del material</b>	113
<b>4.6.</b>	<b>Tablero de control</b>	114
<b>4.7.</b>	<b>Interfaz HMI</b>	114
<b>4.7.1.</b>	<b>Sistema automático</b>	114
<b>4.7.2.</b>	<b>Pantalla de ingreso de parámetros para molde</b>	115
<b>4.7.3.</b>	<b>Pantalla de accionamiento manual y prueba</b>	115
<b>4.8.</b>	<b>Construcción de máquina dobladora de platinas</b>	116
<b>4.8.1.</b>	<b>Sistemas y mecanismos presentes en la máquina dobladora de platinas</b>	116
<b>4.8.1.1.</b>	<b>Construcción de sistema estructural de la máquina dobladora</b>	117
<b>4.8.1.2.</b>	<b>Construcción de mecanismo de doblado</b>	118
<b>4.8.1.3.</b>	<b>Construcción de mecanismo de sujeción</b>	118
<b>4.8.1.4.</b>	<b>Construcción de sistema de avance</b>	119
<b>4.8.1.5.</b>	<b>Construcción de sistema eléctrico y de control</b>	120
<b>4.8.1.6.</b>	<b>Construcción de sistema neumático</b>	121
<b>4.9.</b>	<b>Análisis de costos</b>	121
<b>4.9.1.1.</b>	<b>Costos directos</b>	121
<b>4.9.1.2.</b>	<b>Costos indirectos</b>	124
<b>4.9.1.3.</b>	<b>Costo total</b>	124
<b>4.10.</b>	<b>Calibración de máquina dobladora de platinas</b>	125
<b>4.10.1.</b>	<b>Calibración de desplazamiento</b>	125
<b>4.10.2.</b>	<b>Calibración del sensor de distancia</b>	126
<b>4.10.3.</b>	<b>Calibración del ángulo de doblado</b>	126
<b>4.11.</b>	<b>Pruebas de funcionamiento de máquina dobladora de platinas</b>	127
<b>4.12.</b>	<b>Análisis de producción</b>	128

## CAPÍTULO V

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	130
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones</b>	130
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones</b>	131

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Factor de confiabilidad .....	16
<b>Tabla 2-2:</b> Comparativa entre ANSYS, LS DYNA y ANSYS LS-DYNA.....	33
<b>Tabla 3-1:</b> Requerimientos del cliente .....	37
<b>Tabla 3-2:</b> Voz del Ingeniero .....	38
<b>Tabla 3-3:</b> Voz del Ingeniero .....	39
<b>Tabla 3-4:</b> Factor de venta .....	41
<b>Tabla 3-5:</b> Compromisos técnicos.....	43
<b>Tabla 3-6:</b> Especificaciones técnicas .....	46
<b>Tabla 3-7:</b> Matriz morfológica.....	48
<b>Tabla 3-8:</b> Evaluación del peso específico de cada criterio. ....	54
<b>Tabla 3-9:</b> Evaluación del peso específico costo .....	54
<b>Tabla 3-10:</b> Evaluación del peso específico automatización .....	55
<b>Tabla 3-11:</b> Evaluación del peso específico capacidad.....	55
<b>Tabla 3-12:</b> Evaluación del peso específico dimensiones.....	55
<b>Tabla 3-13:</b> Evaluación del peso específico seguridad .....	56
<b>Tabla 3-14:</b> Evaluación de la prioridad de cada alternativa .....	56
<b>Tabla 3-15:</b> Medidas de cuñas .....	70
<b>Tabla 3-16:</b> Pesos de componentes de dobladora de platinas .....	82
<b>Tabla 3-17:</b> Procesos de mecanizado en torno.....	84
<b>Tabla 3-18:</b> Componentes de entrada y salida .....	101
<b>Tabla 3-19:</b> Componentes para el armado del tablero de control .....	102
<b>Tabla 3-20:</b> Componentes del sistema de control .....	104
<b>Tabla 4-1:</b> Lista de herramientas, equipos y procesos de manufactura.....	116
<b>Tabla 4-2:</b> Sistemas y mecanismos presentes en la máquina dobladora de platinas .....	116
<b>Tabla 4-3:</b> Construcción de sistema estructural .....	117
<b>Tabla 4-4:</b> Construcción del mecanismo de doblez .....	118
<b>Tabla 4-5:</b> Construcción del mecanismo de sujeción.....	119
<b>Tabla 4-6:</b> Construcción de sistema de avance .....	119
<b>Tabla 4-7:</b> Construcción de sistema eléctrico y de control .....	120
<b>Tabla 4-8:</b> Construcción de sistema neumático .....	121
<b>Tabla 4-9:</b> Tabla de costos de componentes mecánicos.....	122
<b>Tabla 4-10:</b> Costos de componentes electrónicos .....	122
<b>Tabla 4-11:</b> Costo de componentes neumáticos.....	123

<b>Tabla 4-12:</b> Costo de alquiler de máquinas y procesos de manufactura .....	123
<b>Tabla 4-13:</b> Costos directos .....	123
<b>Tabla 4-14:</b> Costo Indirecto .....	124
<b>Tabla 4-15:</b> Costo Total .....	124
<b>Tabla 4-16:</b> Pruebas de calibración de sensor de distancia .....	126
<b>Tabla 4-17:</b> Pruebas de funcionamiento de máquina dobladora .....	127
<b>Tabla 4-18:</b> Análisis de producción .....	128

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Moldes de acero inoxidable, latón y de plástico .....	6
<b>Ilustración 2-2:</b> Molde cilíndrico.....	6
<b>Ilustración 2-3:</b> Resistencia de diferentes aleaciones .....	8
<b>Ilustración 2-4:</b> Resistencia térmica comparativa.....	8
<b>Ilustración 2-5:</b> Expansión térmica comparativa .....	9
<b>Ilustración 2-6:</b> Sistema de transmisión de potencia por cadena.....	11
<b>Ilustración 2-7:</b> Estructura de herramental del doblado en "L" .....	11
<b>Ilustración 2-8:</b> Configuración de un eje.....	13
<b>Ilustración 2-9:</b> Estructura general de un reductor de engranes .....	22
<b>Ilustración 2-10:</b> Reductor de velocidad de engranes.....	23
<b>Ilustración 2-11:</b> Motor paso a paso .....	23
<b>Ilustración 2-12:</b> Devanado de un motor paso a paso.....	24
<b>Ilustración 2-13:</b> Esquema general de un sistema .....	25
<b>Ilustración 2-14:</b> Control manual de lazo cerrado .....	25
<b>Ilustración 2-15:</b> Esquema del sistema de control de lazo abierto .....	26
<b>Ilustración 2-16:</b> Control ON/OFF de una válvula.....	26
<b>Ilustración 2-17:</b> Control P&I.....	27
<b>Ilustración 2-18:</b> Bloques de funciones .....	28
<b>Ilustración 2-19:</b> Diagrama Ladder .....	29
<b>Ilustración 2-20:</b> Grafcet .....	29
<b>Ilustración 2-21:</b> Esquema del Compresor de desplazamiento positivo.....	30
<b>Ilustración 2-22:</b> Cilindro neumático .....	30
<b>Ilustración 2-23:</b> Válvula direccional .....	31
<b>Ilustración 2-24:</b> Elementos más comunes en el análisis de Elementos Finitos.....	32
<b>Ilustración 2-25:</b> ANSYS LS-Dyna.....	33
<b>Ilustración 2-26:</b> Soldadura SMAW.....	34
<b>Ilustración 3-1:</b> Diagrama de bloques para el diseño conceptual. ....	36
<b>Ilustración 3-2:</b> Correlaciones .....	39
<b>Ilustración 3-3:</b> Análisis de competitividad.....	42
<b>Ilustración 3-4:</b> Evaluación técnica .....	43
<b>Ilustración 3-5:</b> Despliegue de la casa de calidad.....	45
<b>Ilustración 3-6:</b> Nivel 0 .....	47
<b>Ilustración 3-7:</b> Nivel 1 .....	47

<b>Ilustración 3-8:</b> Alternativa 1 .....	50
<b>Ilustración 3-9:</b> Alternativa 2 .....	51
<b>Ilustración 3-10:</b> Alternativa 3 .....	52
<b>Ilustración 3-11:</b> Modelado de la máquina completa .....	57
<b>Ilustración 3-12:</b> Perfil cuadrado ASTM A36.....	58
<b>Ilustración 3-13:</b> Barra lisa de acero comercial.....	58
<b>Ilustración 3-14:</b> Plancha ASTM A36.....	58
<b>Ilustración 3-15:</b> Velocidad nominal del motor.....	60
<b>Ilustración 3-16:</b> Eficiencia dinámica.....	60
<b>Ilustración 3-17:</b> Catálogo de motorreductores y motores MOTIVE.....	61
<b>Ilustración 3-18:</b> Esquema de los componentes .....	62
<b>Ilustración 3-19:</b> Diagrama de cuerpo libre.....	63
<b>Ilustración 3-20:</b> Diagrama isométrico de fuerzas.....	64
<b>Ilustración 3-21:</b> Diagrama 2D del plano x-y.....	64
<b>Ilustración 3-22:</b> Diagrama de momento flector plano x-y .....	65
<b>Ilustración 3-23:</b> Diagrama Torsor .....	65
<b>Ilustración 3-24:</b> Eje dimensionado.....	66
<b>Ilustración 3-25:</b> Estandarización de chavetas según DIN 6885-A.....	67
<b>Ilustración 3-26:</b> Diagrama de fuerzas del eje de catalina.....	70
<b>Ilustración 3-27:</b> Valores nominales para diferentes tipos de máquinas .....	72
<b>Ilustración 3-28:</b> Valores del factor de confiabilidad .....	72
<b>Ilustración 3-29:</b> Deep Groove Ball Bearing.....	74
<b>Ilustración 3-30:</b> Factor de servicio.....	75
<b>Ilustración 3-31:</b> Selección de número de cadenas de rodillos.....	76
<b>Ilustración 3-32:</b> dimensiones de catalinas N° 40 de paso 0.5 [in].....	77
<b>Ilustración 3-33:</b> Especificaciones y dimensiones de catalinas para una cadena N°40.....	78
<b>Ilustración 3-34:</b> Valores para el centro entre piñones y longitud de cadena.....	80
<b>Ilustración 3-35:</b> Estructura de la máquina dobladora.....	82
<b>Ilustración 3-36:</b> Dimensiones de perfil rectangular ASTM A36 .....	82
<b>Ilustración 3-37:</b> CAD de ejes a mecanizar.....	84
<b>Ilustración 3-38:</b> Muela de palanca. ....	85
<b>Ilustración 3-39:</b> Muela de sujeción .....	85
<b>Ilustración 3-40:</b> Diagrama de ensamble de dobladora de platina.....	86
<b>Ilustración 3-41:</b> Ensamble final de la dobladora de platinas.....	86
<b>Ilustración 3-42:</b> Diseño de estructura en Ansys.....	87
<b>Ilustración 3-43:</b> Calidad de malla de estructura.....	87

<b>Ilustración 3-44:</b> Condiciones de contorno y cargas de la estructura.....	88
<b>Ilustración 3-45:</b> Diseño de eje de palanca de doblez en Desing Modeler.....	88
<b>Ilustración 3-46:</b> Mallado de eje de palanca de doblez .....	89
<b>Ilustración 3-47:</b> Condiciones de contorno y cargas aplicadas en eje de palanca de doblez.....	89
<b>Ilustración 3-48:</b> Step pieza de sujeción.....	90
<b>Ilustración 3-49:</b> Mallado de la pieza de sujeción.....	90
<b>Ilustración 3-50:</b> Condiciones de contorno y cargas aplicadas a la pieza de sujeción .....	91
<b>Ilustración 3-51:</b> Step pieza de sujeción.....	91
<b>Ilustración 3-52:</b> Mallado de palanca de doblez.....	92
<b>Ilustración 3-53:</b> Condiciones de contorno y cargas aplicadas en la palanca de doblez .....	92
<b>Ilustración 3-54:</b> Step de mecanismo de doblez.....	93
<b>Ilustración 3-55:</b> Asignación de material en los elementos de mecanismo de doblez.....	93
<b>Ilustración 3-56:</b> Mallado de mecanismo de doblez.....	94
<b>Ilustración 3-57:</b> Contactos, juntas e interacciones del mecanismo de doblez.....	94
<b>Ilustración 3-58:</b> Condiciones de contorno y parámetros.....	95
<b>Ilustración 3-59:</b> Diagrama de fuerzas en Cuña .....	95
<b>Ilustración 3-60:</b> Condiciones y restricciones de simulación en ADAMS.....	97
<b>Ilustración 3-61:</b> Definición de Motion del pistón .....	97
<b>Ilustración 3-62:</b> Fuerza aplicada en ADAMS .....	98
<b>Ilustración 3-63:</b> Curva de la fuerza Y aplicada en pistón .....	98
<b>Ilustración 3-64:</b> Cilindro Compacto.....	99
<b>Ilustración 3-65:</b> Diagrama de conexión neumática.....	100
<b>Ilustración 3-66:</b> Motor paso a paso Nema 23.....	100
<b>Ilustración 3-67:</b> Tornillo sin fin 1204-3.....	101
<b>Ilustración 3-68:</b> Código de programación.....	103
<b>Ilustración 3-69:</b> Diagrama de conexión .....	103
<b>Ilustración 3-70:</b> Diagrama de conexión entre PLC y HMI .....	104
<b>Ilustración 3-71:</b> Plantilla de interfaz de HMI.....	105
<b>Ilustración 3-72:</b> Configuración de botones HMI .....	105
<b>Ilustración 3-73:</b> Configuración de puertos COM.....	106
<b>Ilustración 4-1:</b> Deformación de estructura.....	107
<b>Ilustración 4-2:</b> Esfuerzo máximo sobre plancha de la estructura.....	108
<b>Ilustración 4-3:</b> Factor de seguridad de la estructura.....	108
<b>Ilustración 4-4:</b> Deformación máxima de pieza de sujeción .....	109
<b>Ilustración 4-5:</b> Máximo esfuerzo de pieza de sujeción .....	109
<b>Ilustración 4-6:</b> Factor de seguridad de pieza de sujeción.....	110

<b>Ilustración 4-7:</b> Deformación máxima de palanca de doblez .....	110
<b>Ilustración 4-8:</b> Esfuerzo máxima de palanca de doblez .....	111
<b>Ilustración 4-9:</b> Coeficiente de seguridad de palanca de doblez .....	111
<b>Ilustración 4-10:</b> Deformación máxima de eje de palanca de doblez.....	112
<b>Ilustración 4-11:</b> Esfuerzo máximo del eje de palanca de doblez .....	112
<b>Ilustración 4-12:</b> Doble de 90° de platina.....	113
<b>Ilustración 4-13:</b> Movimiento del plegado de platina.....	114
<b>Ilustración 4-14:</b> Tablero de control.....	114
<b>Ilustración 4-15:</b> Interfaz del sistema automático .....	115
<b>Ilustración 4-16:</b> Interfaz de pantalla de ingreso de parámetros.....	115
<b>Ilustración 4-17:</b> Interfaz de pantalla de accionamiento manual.....	116
<b>Ilustración 4-18:</b> Calibración de doblez .....	125
<b>Ilustración 4-19:</b> Prueba de ángulo de doblez N°1 .....	126
<b>Ilustración 4-20:</b> Prueba de ángulo de doblez N°1 .....	127
<b>Ilustración 4-21:</b> Prueba de ángulo de doblez N°1 .....	127

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 2-1</b> .....	11
<b>Ecuación 2-2</b> .....	11
<b>Ecuación 2-3</b> .....	12
<b>Ecuación 2-4</b> .....	12
<b>Ecuación 2-5</b> .....	12
<b>Ecuación 2-6</b> .....	12
<b>Ecuación 2-7</b> .....	13
<b>Ecuación 2-8</b> .....	14
<b>Ecuación 2-9</b> .....	14
<b>Ecuación 2-10</b> .....	14
<b>Ecuación 2-11</b> .....	14
<b>Ecuación 2-12</b> .....	15
<b>Ecuación 2-13</b> .....	16
<b>Ecuación 2-14</b> .....	16
<b>Ecuación 2-15</b> .....	17
<b>Ecuación 2-16</b> .....	17
<b>Ecuación 2-17</b> .....	17
<b>Ecuación 2-18</b> .....	17
<b>Ecuación 2-19</b> .....	18
<b>Ecuación 2-20</b> .....	18
<b>Ecuación 2-21</b> .....	19
<b>Ecuación 2-22</b> .....	19
<b>Ecuación 2-23</b> .....	20
<b>Ecuación 2-24</b> .....	20
<b>Ecuación 3-1</b> .....	41
<b>Ecuación 3-2</b> .....	42
<b>Ecuación 3-3</b> .....	43

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO ASTM A36
- ANEXO B:** MANUAL DE OPERACIÓN DE MÁQUINA DOBLADORA DE PLATINAS AUTOMÁTICA
- ANEXO C:** MANUAL DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINA DOBLADORA DE PLATINAS AUTOMÁTICA
- ANEXO D:** RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO INXODABLE 304
- ANEXO E:** DIMENSIONES DE LA CHAVETA
- ANEXO F:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MOTOR Y MOTORREDUCTOR
- ANEXO H:** CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN
- ANEXO I:** REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DOBLADORA DE PLATINAS
- ANEXO L:** PLANIMETRÍA

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo el diseño y construcción de una máquina dobladora de platinas automática para aros de queso por medio de un PLC. Se utilizó la metodología QFD (Despliegue de la función de calidad), y en específico la casa de la calidad para escoger la mejor alternativa de diseño. En la aplicación de la metodología se diseñó los elementos mecánicos constituidos de la máquina validando su resistencia mediante simulación, también se seleccionó los elementos mecánicos para la transmisión de potencia y apoyo en base a los requerimientos de la maquina dobladora. En la automatización de la máquina se seleccionó los diversos elementos electrónicos y neumáticos para la debida programación del sistema embebido y para la posterior creación de la interfaz gráfica de usuario, la cual cuenta con funcionalidad de calibración, seteo de medidas y pruebas de actuadores. En la parte mecánica se cuenta con varios sistemas con funciones específicas como son de avance, sujeción y doblez. En base a los resultados obtenidos se concluye que la máquina dobla los aros con la geometría que cumple con los pesos deseados para la fabricación de quesos.

**Palabras clave:** <DOBLADORA DE PLATINAS> <AUTOMATIZACIÓN> <DISEÑO DE MÁQUINAS> <INTERFAZ GRÁFICA> <CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS>.

0252-DBRAI-UPT-2025



## SUMMARY

This work aimed to design and construct an automatic plate-bending machine for cheese rings using a PLC. The QFD (Quality Function Deployment) methodology, specifically the quality house, was used to choose the best design alternative. In applying the method, the mechanical elements of the machine were designed, validating their resistance through simulation. The mechanical elements for power transmission and support were also selected based on the requirements of the bending machine. In machine automation, various electronic and pneumatic elements were selected to program the embedded system correctly and for the subsequent creation of the graphical user interface, which has calibration functionality, measurement settings, and actuator testing. In the mechanical part, several systems have specific functions such as advancement, clamping, and bending. Based on the results obtained, it is concluded that the machine turns the rings with the geometry that meets the desired weights for cheese manufacturing.

**Keywords:** <PLATE BENDING MACHINE> <AUTOMATION> <MACHINE DESIGN>  
<STAINLESS STEEL > <GRAPHIC INTERFACE> <INSTRUMENT CALIBRATION>  
< SIMULATION IN LS-DYNA >



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

## **INTRODUCCIÓN**

La industria láctea presenta una gran demanda de insumos para la producción de sus productos. Una de esta son los moldes los cuales brindan una importancia significativa en esta producción debido a que sus características geométricas le permiten al queso tener ciertas propiedades como sabor, textura y al momento de su comercialización debido a que su geometría ayuda a un mejor almacenamiento, además por las dos presentaciones propuestas en este proyecto de 500 y 1000 g que se ajustan a los requerimientos del consumidor.

Actualmente los moldes de acero inoxidable utilizados en la gran mayoría de fábricas lácteas son realizados manualmente lo que conlleva que al momento de realizar los dobleces existe la posibilidad de que se presenten errores geométricos obteniendo moldes defectuosos que resultaran en pérdidas de material y de tiempo viéndose afectada la productividad de quien realiza los moldes.

Con la ayuda de los conocimientos vanguardistas enfocados en la tecnología que se obtuvieron durante los años de estudio en la carrera de mecánica se pretende reemplazar los procesos realizados manualmente con una serie de procedimientos que suplan los movimientos y esfuerzos realizados por la mano humana mediante el diseño de mecanismos automatizados que favorezcan a la producción de moldes de queso aumentando de forma significativa el número de unidades producidas y reduciendo los defectos que se podrían. Mediante el diseño de ejes, sistemas de transmisión de potencia, diseño estructural, simulación y automatización se pretende crear una máquina capaz de realizar los dobleces de las platinas que son utilizadas para la fabricación de moldes de queso.

## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Antecedentes**

En la industria alimenticia la eficiencia, productividad y la calidad del producto final son características primordiales que atribuyen en la competitividad y la satisfacción del cliente. La fabricación de moldes de queso mediante el doblado de láminas de acero inoxidable presenta desafíos en cuanto a precisión, costos y reducción de tiempos de producción.

Hasta el momento los procesos manuales y semiautomatizados han sido los únicos métodos para realizar moldes de queso, estos procesos pueden ser laboriosos y al ser hecho a mano pueden estar presentes errores como la falta de uniformidad en los moldes. Además, de una baja capacidad de producción.

Gracias al avance de la tecnología se puede brindar soluciones a estos problemas mencionados anteriormente que involucren técnicas innovadoras en donde la automatización forme parte del proceso para realizar moldes de queso. Es por eso por lo que una dobladora de platinas de acero inoxidable presentaría grandes beneficios dentro de la industria láctea como la reducción de tiempos de producción de tiempo, uniformidad en los moldes, disminución de materia prima, entre otros.

A pesar de sus beneficios, los recursos literarios y bibliográficos sobre este tema son limitados, existiendo una brecha significativa de conocimiento sobre el diseño, construcción, automatización y manejo de sistemas neumáticos y la optimización de dobladoras automatizadas de láminas de acero inoxidable para la fabricación de moldes de queso.

#### **1.1. Planteamiento del Problema**

La fabricación convencional de moldes para queso que implica la constante intervención de la mano humana puede causar varios inconvenientes en la obtención de un buen producto cuando a su geometría y dimensiones se trata. Con el diseño de la máquina dobladora de platinas se pretende solucionar los inconvenientes antes mencionados, mediante mecanismos y sistemas mecánicos que utilizan la automatización para un mejor control del proceso.

## **1.2. Justificación**

### ***1.2.1. Justificación teórica***

La obtención del prototipo propuesto en el presente proyecto de titulación se basa en la aplicación y la integración de un conjunto de conocimientos fundamentales adquiridos a lo largo del proceso formativo en la carrera de Mecánica. El análisis de los mecanismos permite analizar y diseñar sistemas que transforman y transmiten movimientos de manera precisa. La automatización, por otro lado, abre un vasto campo de posibilidades para mejorar la productividad y la calidad mediante la aplicación de sistemas controlados electrónicamente. La neumática, proporciona una comprensión profunda de cómo utilizar aire comprimido para realizar trabajos mecánicos, lo que es esencial en la creación de prototipos y sistemas industriales. Además, el diseño de elementos mecánicos abarca desde la concepción hasta la implementación de componentes que conforman maquinarias y sistemas, considerando aspectos como resistencia, durabilidad y funcionalidad.

### ***1.2.2. Justificación metodológica***

Mediante la función del despliegue de calidad (QFD) se pretende establecer los parámetros que servirán de punto de partida para el diseño mecánico, automatización y selección de componentes. El diseño y selección de los componentes de la maquina se basarán en normas dependiendo del sistema o componente ya que nos proporcionan métodos para el cálculo y la obtención de parámetros de selección. Con la implementación de las diversas ramas de la ingeniería como la simulación, diseño, metrología y control no solo se busca reemplazar los procesos manuales, sino también mejorarlos de manera significativa, generando un avance para la mejora continua y la productividad industrial.

### ***1.2.3. Justificación práctica***

La construcción y automatización de una dobladora de platinas para moldes de queso representa un avance significativo para la empresa dedicada a la fabricación de este producto crucial en la industria láctea. Esta iniciativa no solo aborda las necesidades inmediatas de los productores de queso, sino que también establece una base sólida para cumplir con las demandas futuras de un mercado en constante evolución. En un entorno empresarial altamente competitivo, la capacidad de adaptarse rápidamente a las demandas del mercado es fundamental para el éxito a largo plazo.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Diseñar, construir y automatizar una dobladora de platinas de acero inoxidable para moldes de queso de 500 y 1000 g validando el comportamiento del material mediante simulación en LS-DYNA.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Diseñar un modelo de una dobladora de platinas considerando estructura, mecanismos, selección de componentes y validar mediante simulación la resistencia de los elementos críticos.
- Desarrollar la automatización de la dobladora de platinas escogiendo los elementos necesarios contemplando parámetros requeridos mediante un controlador.
- Simular los dobleces de la platina en el software LS-Dyna para obtener el comportamiento de las propiedades mecánicas del material.
- Calibrar y validar la funcionabilidad de la dobladora de platinas sometiéndola a pruebas con y sin carga.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.1. Marco conceptual

El diseño propuesto para la dobladora de platinas de acero inoxidable constituye un sistema integral que combina varios elementos mecánicos y de control para lograr un funcionamiento preciso. El mecanismo básico accionado por un motorreductor transmite su fuerza tangencial a través de un sistema de engranajes que proporciona la potencia necesaria para realizar el doblado de la platina con la precisión requerida. La selección adecuada del motorreductor es crucial para asegurar la potencia suficiente y la velocidad adecuada para el proceso de doblado.

Con implementación de un sistema neumático para la sujeción de la platina se genera un proceso extra de control y precisión al proceso. Dicho sistema neumático proporciona una sujeción fija de la placa durante el doblado, evitando desplazamientos no deseados que pudieran ser perjudiciales para la calidad del producto final.

El desplazamiento de la platina es gestionado por un motor conectado a un tornillo sin fin. Este tornillo sin fin proporciona un movimiento lineal controlado por un sensor de distancia que permite posicionar la platina de manera precisa y consistente. Todo esto estará bajo el control de un PLC en el cual se encontrará todos los comandos y acciones que deberá tener la máquina para un funcionamiento correcto y eficaz.

#### 2.2. Marco teórico

##### 2.2.1. *Moldes de queso*

Los moldes para queso tienen un papel muy significativo en el momento de la producción de quesos ya que según su forma y características tienen a proporcionar ciertas características tanto en la calidad y manufactura de este.

### 2.2.1.1. Material de los moldes

Los materiales para la generación de moldes de queso pueden ser de una gran variedad que van desde algunos tipos de madera que dan sabor y textura, de plástico, de acero inoxidable que son los más duraderos o incluso de cerámica, algunos materiales son utilizados solamente en ciertas partes del mundo ya que no cumplen con los reglamentos de salubridad de algunos países o regiones (Batto, 2011).



**Ilustración 2-1:** Moldes de acero inoxidable, latón y de plástico

**Fuente:** (Batto, 2011)

### 2.2.1.2. Formas y tamaños de moldes de queso

Los moldes aparte de drenar el suero tienen la función de darle forma al queso, con esta propiedad pueden dar al queso características para un fácil desmoldeo dependiendo del queso a fabricar. Existen de formas y tamaños que se adaptan a cualesquier característica y necesidades del productor y del consumidor, los moldes pueden ser cilíndricos, cuadrados o alargados y esféricos (Ramirez Lopez & Vélez-Ruiz, 2012).



**Ilustración 2-2:** Molde cilíndrico

**Fuente:** (Maroto et al., 2020)

### *2.2.1.3. Características especiales*

Según la geometría que presente el molde pueden tener repercusiones en su aspecto y su sabor ya el drenaje del suero entre mayor o menor sea dará propiedades de sabor y textura al queso por la cantidad de orificios que este posea. Igual si el molde tiene una geometría amplia, el área en contacto entre el queso y el ambiente será mayor por lo que el queso obtendrá diferentes propiedades (Zumba & Elizabeth, 2015).

### *2.2.2. Normas INEN para la producción y procesamiento de quesos*

Las normas INEN presentes en Ecuador dan a conocer los requerimientos y procesos para la fabricación de varios tipos de quesos, pero el contenido sobre los moldes es escaso por lo que es necesario considerar dichas normas solamente para consulta bibliográfica con respecto a la producción general de quesos. A continuación, se presentan normas considerando su relación con la producción de quesos.

- NTE INEN 1528: Queso fresco. Requisitos
- NTE INEN 3: Leche y productos lácteos. Terminología
- NTE INEN 4: Leche y productos lácteos. Muestras
- NTE INEN 11: Leche. Determinación de la densidad relativa

### *2.2.3. Aceros inoxidables grado alimenticio*

El acero inoxidable cumple con una muy alta importancia debido a sus beneficios que esta trae con respecto a otros aceros, su durabilidad y resistencia, la resistencia a la corrosión y lo más importante su seguridad alimenticia hacen que este acero cumpla con todos los requisitos para ser utilizado en esta área de producción (Ortíz, s. f.).

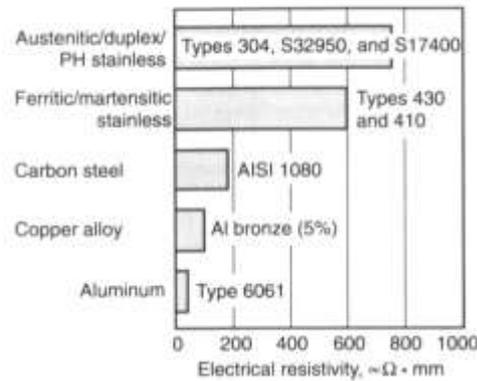
#### *2.2.3.1. Características generales de los aceros inoxidables*

Los aceros inoxidables forman parte de una familia de aleaciones donde el cromo gracias a su notable resistencia a la corrosión es su principal componente. Su estabilidad superficial hace que resista ambientes hostiles que otros aceros se verían afectados en sus propiedades mecánicas. Esta característica hace que sea una opción viable para su aplicación como protectores, decorativos y estructurales en menor escala. La resistencia a la exposición de líquidos los hace útiles en sectores como lo es en la industria química y alimentaria (González, 2004).

### 2.2.3.2. Propiedades físicas y mecánicas de aceros inoxidable

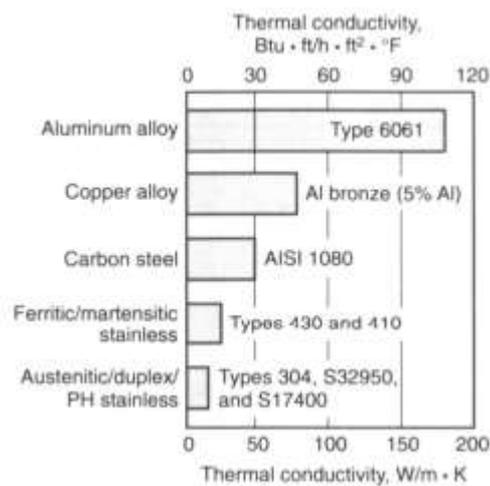
Las propiedades físicas y mecánicas de los aceros inoxidable se diferencian frente a las demás aleaciones ferrosas existentes como son las de cobre y aluminio, pero al comparar las familias de los aceros inoxidable se pueden encontrar varias similitudes aun que las diferencias son las más relevantes y las que dan sus características innatas a cada aleación (González, 2004).

La resistencia eléctrica, conductividad y la expansión térmica son las propiedades físicas que tienen una gran importancia para el uso de las aleaciones metálicas. A continuación, se presenta cada una de estas propiedades de algunas de las familias de los aceros inoxidable en comparación con otras aleaciones.



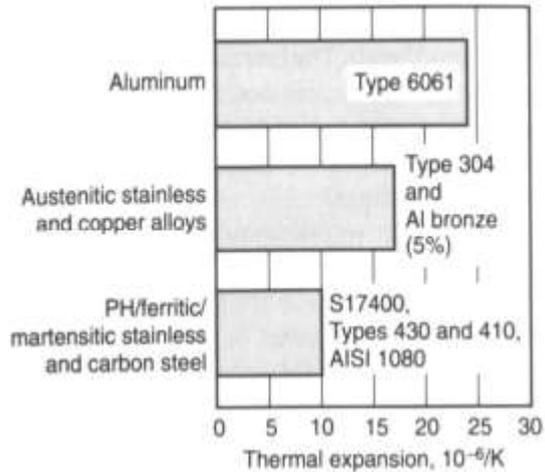
**Ilustración 2-3:** Resistencia de diferentes aleaciones

Fuente: (González, 2004)



**Ilustración 2-4:** Resistencia térmica comparativa

Fuente: (González, 2004)



**Ilustración 2-5:** Expansión térmica comparativa

Fuente: (González, 2004)

### 2.2.3.3. Selección de aceros inoxidable en la industria alimenticia

Las características a considerar para la selección de aceros inoxidable considerando que se encuentran dentro de la industria alimenticia son (González, 2004) :

- Resistencia a la oxidación y a la corrosión adecuada al medio en que han de operar y estabilidad de estas propiedades a altas temperaturas.
- Propiedades mecánicas tales como resistencia, ductilidad y tenacidad a temperatura ambiente y de servicio.
- Propiedades físicas tales como conductividad térmica y eléctrica y propiedades magnéticas.
- Propiedades tribológicas tales como resistencia a la abrasión, a la erosión y a la fricción.
- Soldabilidad, especialmente influencia de los procesos de soldadura sobre la resistencia a corrosión, oxidación y creep.
- Características relacionadas con la terminación superficial y/ reflectividad.
- Costos. Tanto de producción y fabricación como de funcionamiento y mantenimiento.

### 2.2.3.4. Familias de aceros inoxidable y sus propiedades

**Aceros inoxidable ferríticos:** Son aleaciones magnéticas y su proceso de endurecimiento no puede realizarse mediante tratamiento térmico. El límite de fluencia de los aceros inoxidable ferríticos se encuentra entre 210 a 350 MPa. Una de sus mayores ventajas es su resistencia a la corrosión bajo tensiones y resistencia a la oxidación (González, 2004).

**Aceros inoxidables austeníticos:** Estos aceros comprenden la mayor familia de aceros inoxidables en términos de uso y cantidad de aleaciones disponibles. Posee una excelente ductilidad, formabilidad y una buena tenacidad a temperaturas criogénicas. Las aleaciones con alto porcentaje de nitrógeno alcanzan una resistencia a la fluencia de hasta 500MPa en comparación a una aleación de cromo-níquel que llega a 270 MPa (González, 2004).

**Aceros inoxidables martensíticos:** Los aceros inoxidables martensíticos son magnéticos y en su condición de recocido tienen una resistencia a la fluencia de 275 MPa por lo que le permite ser mecanizado, conformados y trabajado en frío (González, 2004).

**Aceros inoxidables endurecidos por precipitación (PH):** Estas aleaciones que tiene una composición cromo-níquel son endurecidas mediante el tratamiento de envejecimiento. Dichas aleaciones pueden llegar a alcanzar niveles de resistencia de fluencia de hasta 1700 MPa. Estos aceros tienen buenas propiedades mecánicas como la ductilidad, tenacidad y una buena resistencia a la corrosión (González, 2004).

**Aceros inoxidables Duplex:** Estos aceros cuentan con una aleación de cromo-níquel-molibdeno. Esta aleación permite al acero obtener un aumento en la resistencia a la corrosión bajo tensiones. Esta aleación puede llegar a una resistencia a la fluencia de 550 a 690 MPa (González, 2004).

#### *2.2.3.5. Acero Inoxidable austenítico 304*

El acero Inoxidable 304 es el más utilizado para servicios generales debido que al trabajar con el presenta una gran facilidad frente a de otras clases. Sus propiedades anticorrosivas lo hacen perfecto para trabajar con la mayoría de los ácidos, sustancias orgánicas y colorantes. Además, de su propiedad anticorrosiva tiene otras propiedades que lo hacen muy popular dentro de la industria alimenticia, su facilidad para soldar y capacidad de conformado son otras características netas de este acero (Bombón, 2014).

#### *2.2.4. Sistema de transmisión de potencia por cadena*

Este sistema se basa en la transmisión de potencia desde un elemento propulsor como el caso del motor eléctrico a través de una máquina hasta obtener un impulso de salida. El medio empleado por el cual se transmite potencia del movimiento rotatorio del eje es mediante un piñón y una catalina unidas en movimiento solidario con una cadena de rodillos. El diseño de estos sistemas

requiere una enfatización al diseño y selección de sus componentes (ejes, rodamientos, catalina, piñón, cadenas)(Budynas, 2012, p. 900).

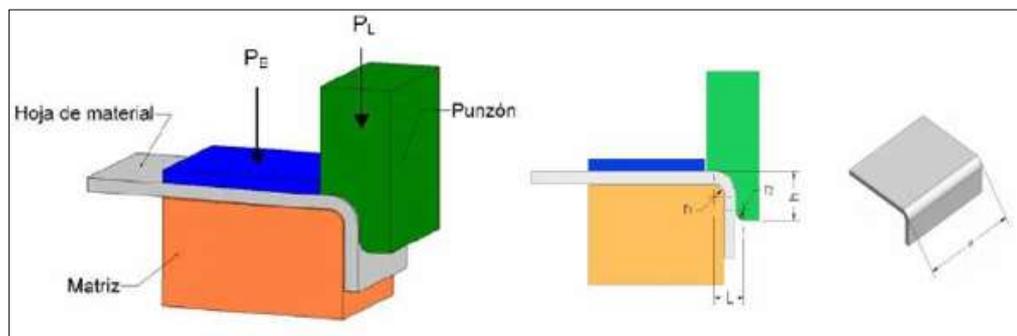


**Ilustración 2-6:**Sistema de transmisión de potencia por cadena

Fuente: (Meléndez, 2021).

### 2.2.5. Plegado en “L” de platinas

Cuando existe la necesidad de diseñar una máquina que cumpla ciertas funciones es importante partir del cálculo necesario de una fuerza en este caso el plegado en “L” para su posterior dimensionamiento en base al resultado de dicha fuerza. El esquema utilizado se puede ver en la Ilustración 2-7 (Luna, 2017).



**Ilustración 2-7:** Estructura de herramental del doblado en "L"

Fuente: (Luna, 2017)

La fuerza requerida para el doblado viene dada por las siguientes ecuaciones:

$$P_L = 0.33 * \left( \frac{\sigma_B * W * t^2}{L} \right) \quad \text{Ecuación 2-1}$$

$$L = r_1 + r_2 + t \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$5t > r_1 = r_2 > t$$

**Ecuación 2-3**

Donde:

**$P_L$** : Fuerza requerida para el dobléz [N]

**$\sigma_B$** : Resistencia a la fluencia [MPa]

**w**: Longitud del dobléz [mm]

**t**: Espesor del material [mm]

**L**: Distancia entre radio de matriz y punzón [mm]

### 2.2.6. Selección de motor y motorreductor

#### 2.2.6.1. Requisitos de potencia y par de torsión

Generalmente los sistemas de transmisión de potencia están regidos por una capacidad de potencia los cuales son la combinación de un par de torsión y una velocidad que el sistema puede resistir. Para estos sistemas y sus cálculos se considera una potencia ideal que consiste en que la potencia de entrada que tiene que ser igual a la potencia de salida considerando una eficiencia del 100%. En cambio, el par de torsión no es constante a lo largo del sistema de transmisión (Budynas & Nisbett, 2012).

$$T_r = F * d = P_L * r$$

**Ecuación 2-4**

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

**Ecuación 2-5**

$$T_r < T_m$$

**Ecuación 2-6**

Donde:

**$T_r$** : Torque requerido para garantizar el pliegue [Nm]

**$T_m$** : Torque de salida del motorreductor [Nm]

**F**: Fuerza necesaria para el plegado en “L” de la platina [N]

**d**: Distancia perpendicular a la fuerza que es el radio del piñón [m]

**i**: Relación de transmisión [adimensional]

**$n_1/n_2$** : Velocidad de entrada y salida respectivamente [rpm]

### 2.2.6.2. Par de salida nominal

El cálculo del torque de salida nominal transmisible en condiciones uniformes cargando y referido a la entrada velocidad  $n_1$  y la salida correspondiente velocidad  $n_2$  el cual será el torque de salida del motorreductor. El par de salida se puede calcular utilizando la siguiente ecuación (MOTIVE, 2024).

$$M_2 = \frac{P_1 * 9550}{n_2} * \eta_d = T_m \quad \text{Ecuación 2-7}$$

Donde:

$M_2$ : Torque de salida nominal del motorreductor [Nm]

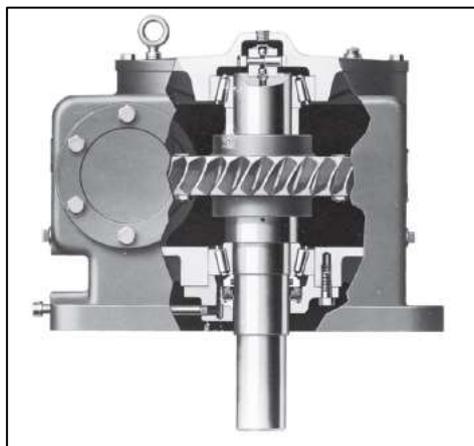
$P_1$ : Potencia de entrada del motor [kW]

$n_2$ : Velocidad de salida [rpm]

$\eta_d$ : Eficiencia dinámica [adimensional]

### 2.2.7. Diseño de ejes

Los ejes son elementos giratorios que mayormente son de sección transversal circular que se usan para la transmisión de potencia en una máquina o sistema motriz al cual se acoplan ruedas rotatorias, engranes, poleas, entre otros. La configuración general de un eje para el acople de los diferentes elementos que pueden ir montados en el mismo, se debe especificar en los primeros pasos del proceso de diseño para realizar un análisis de fuerzas de cuerpo libre y obtener diagramas de momento flector y de torsión, además que su geometría deber ser de un cilindro escalonado (Budynas, 2012, p. 346 ).



**Ilustración 2-8:** Configuración de un eje

Fuente:(Budynas, 2012)

### 2.2.7.1. Límite de resistencia a la fatiga

Se emplea para el diseño preliminar de un elemento rotatorio utilizado inclusive para prototipos, también para análisis de forma rápida para estimar los límites de resistencia para ese elemento acorde al material empleado, en caso de aceros se estima el límite de resistencia de la siguiente manera (Budynas, 2012).

$$S'e = 0.5S_{ut} \text{ para } S_{ut} \leq 200 \text{ Kpsi (1400 Mpa)} \quad \text{Ecuación 2-8}$$

**Donde:**

**S<sub>ut</sub>:** Resistencia ultima a la tracción del material

Existe también, factores que pueden variar el límite de resistencia a la fatiga, como pueden ser el material, manufactura, entorno, diseño.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'e \quad \text{Ecuación 2-9}$$

Donde:

**K<sub>a</sub>:** factor de modificación por la condición superficial

**k<sub>b</sub>:** factor de modificación por el tamaño

**k<sub>c</sub>:** factor de modificación por la carga

**k<sub>d</sub>:** factor de modificación por la temperatura

**k<sub>e</sub>:** factor de confiabilidad<sup>13</sup>

**k<sub>f</sub>:** factor de modificación por efectos varios

### 2.2.7.2. Concentración del esfuerzo y sensibilidad a la muesca

En un eje va a existir ciertas irregularidades o discontinuidades por lo cual se toma en cuenta los factores de concentración de esfuerzo y aparecen los valores de K<sub>f</sub> que se llama comúnmente factor de concentración del esfuerzo por fatiga tanto para esfuerzos flectores y esfuerzos cortantes (Budynas, 2012).

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \text{Ecuación 2-10}$$

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1) \quad \text{Ecuación 2-11}$$

Donde:

**kt y kts:** Factores de concentración de esfuerzos

Una vez calculados los valores de los momentos flectores, los momentos torsionales, se procede a realizar un análisis detallado para identificar las fluctuaciones que pueden presentarse, como completamente invertidas, fluctuantes, entre otras y después aplicar la fórmula establecida en el estándar ASME B106.1.M para calcular el diámetro del eje. La ecuación matemática utilizada para calcular el diámetro del eje es la siguiente (Budynas, 2012).

$$d = \left\{ \frac{16 * n}{\pi} * \left[ 4 * \left( \frac{k_f * M_a}{S_e} \right)^2 + 3 * \left( \frac{k_{fs} * T_a}{S_e} \right)^2 + 4 * \left( \frac{k_f * M_m}{S_y} \right)^2 + 3 * \left( \frac{k_{fs} * T_m}{S_y} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$$

**Ecuación 2-12**

Donde:

**d:** Diámetro del eje calculado [mm]

**n:** Factor de seguridad requerido por el eje

**k<sub>f</sub>:** Factor de concentrador de esfuerzos a flexión

**k<sub>fs</sub>:** Factor de concentrador de esfuerzos a torsión

**M<sub>a</sub>:** Momento flector amplitud [N\*mm]

**M<sub>m</sub>:** Momento flector medio [N\*mm]

**T<sub>a</sub>:** Torque amplitud [N\*mm]

**T<sub>m</sub>:** Torque medio [N\*mm]

**S<sub>e</sub>:** Límite de fatiga [MPa]

**S<sub>y</sub>:** Límite de fluencia [MPa]

### 2.2.8. Selección de rodamientos

En el mercado existen varios tipos de rodamientos los cuales dependiendo de su configuración tienen diferentes finalidades como por ejemplo tenemos los rodamientos rígidos de bolas, de rodillos entre otros. Dentro del mercado existen varios fabricantes de rodamientos como FBJ y NTN los cuales son los más utilizados y que con los que se cuenta un gran número de stock en el

país. Cada proveedores cuenta con su propio procedimiento para la selección de rodamientos los cuales se basan en parámetros de selección (FBJ, 2015).

En el catálogo FBJ se obtiene una selección basada en el cálculo de la carga dinámica con la cual se determina la capacidad de carga inicial. Este catálogo cuenta con fórmulas específicas para dichos cálculos las cuales se presentan a continuación:

$$C' = \frac{f_h}{f_n} * P \quad \text{Ecuación 2-13}$$

Donde:

**$C'$** : Capacidad de carga requerida-dinámica [N]

**$f_h$** : Factor de vida

**$f_n$** : Factor de velocidad

**$P$** : Carga equivalente [N]

Para el cálculo de factor de vida se seleccionan constantes adecuadas que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2-1:** Factor de confiabilidad

Confiabilidad	L	Factor de confiabilidad [a <sub>1</sub> ]
90,00	L10	1,00
95,00	L5	0,64
96,00	L4	0,55
97,00	L3	0,47
98,00	L2	0,37
99,00	L1	0,25

Fuente: (FBJ, 2015)

Realizado por: Díaz, Alex; Pruna, Dimar 2024.

Donde los factores de confiabilidad dependiendo de L que es su Vida nominal en millones de revoluciones se procede a reemplazar en las siguientes fórmulas para determinar la clase de rodamiento (FBJ, 2015).

Rodamientos rígidos de bolas:

$$f_h = \left( \frac{L_{10}}{500} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 2-14}$$

Rodamientos de rodillos cilíndricos:

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{\frac{3}{10}} \quad \text{Ecuación 2-15}$$

Para el cálculo del factor de velocidad igual existen ecuaciones que dependiendo del rodamiento se expresan de las diferentes formas:

Rodamientos rígidos de bolas:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ecuación 2-16}$$

Rodamientos de rodillos cilíndricos:

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{3}{10}} \quad \text{Ecuación 2-17}$$

Donde:

**n:** Velocidad de rotación del rodamiento [rpm]

### **2.2.9. Selección de catalinas y cadena**

Para la selección de las cadenas de rodillos consideramos el uso del catálogo de la marca REXNORD en donde se presenta el siguiente procedimiento.

#### **2.2.9.1. Cálculo de la potencia**

La potencia que se calcula en este apartado es con la cual se va a comenzar con la selección de la cadena (REXNORD, 2015).

$$P_d = P * C_7 \quad \text{Ecuación 2-18}$$

Donde:

**P<sub>d</sub>:** Potencia de diseño [Hp]

**P:** Potencia Nominal [Hp]

### **C<sub>7</sub>**: Factor de servicio

En donde el factor de servicio es seleccionado de la **Tabla 2-1** proporcionada por el catálogo de REXNORD.

#### *2.2.9.2. Número de cadena*

Para determinar el número de cadena se considera la velocidad del piñón menor y la potencia que se requiere transmitir. La intersección de dichos datos en el Cuadro C del catálogo nos indicará el número de cadena a utilizar para nuestra aplicación (REXNORD, 2015).

#### *2.2.9.3. Cálculo de la relación de transmisión*

La relación de transmisión se realiza con las revoluciones de salida del motor con las revoluciones que se requiere en el actuador.

$$i = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Ecuación 2-19}$$

Donde:

**N<sub>1</sub>**: Número de revoluciones por minuto del piñón [rpm]

**N<sub>2</sub>**: Número de revoluciones por minuto de la catalina [rpm]

#### *2.2.9.4. Número de dientes de la catalina menor en base a la potencia*

Para esta selección se considera la velocidad de la catalina menor y la potencia que se necesita transmitir escogiendo el número de dientes más idóneo considerando el agujero máximo de eje que se le puede realizar al piñón en la tabla perteneciente al número de cadena escogido anteriormente (REXNORD, 2015).

#### *2.2.9.5. Cálculo de números de dientes de la catalina mayor*

Se lo realiza multiplicando la relación de transmisión con el número de dientes de la catalina menor.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad \text{Ecuación 2-20}$$

#### 2.2.9.6. Distancia entre centros

La distancia entre centros en donde se deben encontrar los ejes donde irán ensamblados tanto el piñón y la catalina se lo realiza calculando la distancia mínima que debe tener mediante la siguiente fórmula (REXNORD, 2015).

$$e = D + 0.5 * d \quad \text{Ecuación 2-21}$$

Donde:

**D:** Diámetro de catalina [in]

**d:** Diámetro de piñón [in]

Donde el resultado de esta ecuación nos brindará la distancia mínima que debe tener nuestra distancia entre centros.

#### 2.2.9.7. Longitud de cadena

La longitud de la cadena se lo realiza considerando los diámetros tanto de la catalina y del piñón, tomando como una referencia inicial una separación inicial propuesta y luego siendo ajustada dependiendo del número de eslabones necesarios (REXNORD, 2015).

La siguiente ecuación muestra el coeficiente A que mediante interpolación con la tabla de cadenas presente en el catálogo se procede obtener los coeficientes B, C y D para posteriores cálculos (REXNORD, 2015).

$$A = \frac{G - g}{2 * e} \quad \text{Ecuación 2-22}$$

Donde:

**G:** Diámetro de catalina [in]

**g:** Diámetro de piñón [in]

**E:** Distancia entre centros [in]

#### 2.2.9.8. Número de eslabones

Para determinar el número de eslabones se consideran los factores encontrados anteriormente y se los reemplaza en la siguiente fórmula (REXNORD, 2015).

$$N = \frac{B * e}{P} + C * Z + C * T$$

**Ecuación 2-23**

Donde:

**e:** Distancia entre centros [in]

**P:** Paso de cadena

**Z:** Número de dientes de piñón menor

**T:** Número de dientes de piñón mayor

#### 2.2.9.9. *Corrección de distancia entre centros*

Una vez considerado el número de eslabones, se van a utilizar los mismos factores B, C y D para considerar sus longitudes (REXNORD, 2015).

$$E = \frac{(N - C * Z - D * T) * e}{B}$$

**Ecuación 2-24**

Donde:

**e:** Distancia entre centros [in]

**Z:** Número de dientes de piñón menor

**T:** Número de dientes de piñón mayor

**N:** Número de eslabones

#### 2.2.10. *Diseño de chavetas*

Las chavetas son elementos de unión en partes de máquinas que sirven para transmitir momento torsional total. Las chavetas están sujetas a tensiones internas que son difíciles de calcular por lo tanto los ingenieros utilizan una suposición que un par se transforma en una fuerza que lo absorbe con lo cual se tiene tensiones de corte y compresión producidas por esta fuerza y se plantean factores de seguridad significativamente grandes (Menghini, 2015).

##### 2.2.10.1. *Diseño a corte*

Las chavetas cuentan con dos secciones que se las analiza, la primera la sección trasversal se utiliza para el análisis a corte (Menghini, 2015). En donde tenemos:

$$\tau = \frac{2 * T}{d * b * l}$$

**Ecuación 2-25**

Donde:

**T:** Torque

**d:** Diámetro

**b:** Ancho

**l:** Largo

Para determinar el factor de seguridad a corte se tiene la siguiente ecuación en donde se debe considerar el límite de fluencia a corte.

$$\tau = \frac{Ssy}{n}$$

**Ecuación 2-26**

Donde:

**$\tau$ :** Esfuerzo cortante

**Ssy:** Limite de fluencia a corte

**n:** Factor de seguridad

#### *2.2.10.2. Diseño a compresión*

Para el diseño a compresión se considera la sección perpendicular a la fuerza producida por el torque (Menghini, 2015). Tenemos:

$$\sigma = \frac{4 * T}{d * h * l}$$

**Ecuación 2-27**

Donde:

**T:** Torque

**d:** Diámetro

**h:** Altura

**l:** Largo

Para obtener el factor de seguridad contamos con la siguiente ecuación donde interviene el límite de fluencia del material a utilizar.

$$\sigma = \frac{Sy}{n}$$

**Ecuación 2-28**

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo a compresión

$S_y$ : Limite de fluencia

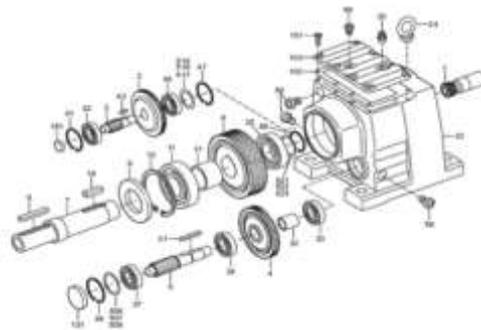
$n$ : Factor de seguridad

### 2.2.11. Motorreductores

Los motorreductores cumplen con la función de disminuir la velocidad de los motores convencionales y permite que el funcionamiento de las máquinas sea el requerido, agregando potencia y fuerza que les permitirá realizar un sinnúmero de trabajos que demanden diferentes parámetros de funcionamiento (Mayuri & Diaz, 2016).

#### 2.2.11.1. Funcionamiento de un Motorreductor

Los motorreductores se obtienen principalmente del acoplamiento de una unidad reductora a un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla que tiene una refrigeración por ventilador para poder conectar a redes trifásicas de 240 voltios. Un guardamotor y un relé térmico son necesarios en su instalación para resguardar la integridad del motor eléctrico en caso de una variación significativa de la intensidad (Mayuri & Diaz, 2016).



**Ilustración 2-9:** Estructura general de un reductor de engranes

Fuente: (Vergara, 2009)

#### 2.2.11.2. Motorreductor de velocidad de engranes

La aplicación de los engranes en los motorreductores es de transmitir movimiento desde el eje de una fuente de energía esta puede ser proporcionada por un motor de combustión o eléctrico hasta otro eje que se sitúa a cierta distancia que realizará un trabajo determinado.



**Ilustración 2-10:** Reductor de velocidad de engranes

Fuente: (Calvo, 2018)

### ***2.2.12. Motores paso a paso***

Los motores paso a paso son implementados especialmente en aplicaciones robóticas y trabajos que demanden de un control de movimiento preciso y específico. Existen de varios tipos y tamaños por lo que su amplia gama de ofertas hacen que los trabajos que utilizan estos motores sean numerosos (Malo, 2011).

#### ***2.2.12.1. Funcionamiento***

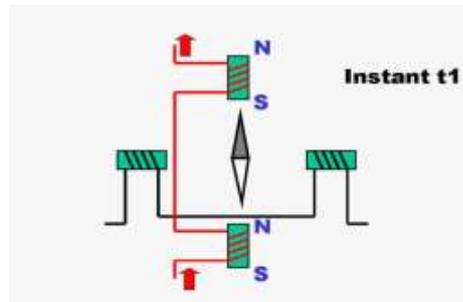
El funcionamiento de un motor paso a paso se basa en la generación de impulsos desfasados, estos impulsos producen un movimiento angular. Los motores paso a paso son muy habituales en dispositivos donde se requiera un control de velocidad o de posición de bucle abierto que son frecuentes en sistemas de posicionamiento. Estos motores no se caracterizan por ser motores rápidos alcanzando como máximo una velocidad de 3000 vueltas/min pero gracias a su funcionamiento lento le permiten trabajar sin escobillas lo que incrementa su vida de uso significativamente (Malo, 2011).



**Ilustración 2-11:** Motor paso a paso

Fuente: (Malo, 2011)

El motor paso a paso trabaja en función de los impulsos eléctricos que este recibe en sus bobinas arrolladas. El ángulo que se puede desplazar entre impulsos se denomina paso y este dependerá del tamaño y configuración del motor paso a paso. La forma en la que se caracterizan estos motores es por el número de pasos que este es capaz de realizar en una vuelta completa es decir  $360^\circ$ , los valores que se encuentran más comúnmente son de 48, 100 o 200 pasos por vuelta.



**Ilustración 2-12:** Devanado de un motor paso a paso

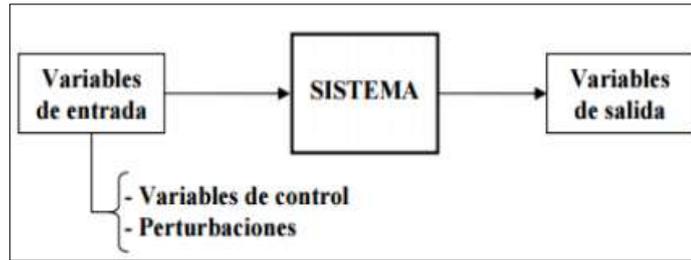
Fuente: (Malo, 2011)

### **2.2.13. Controladores industriales**

Los controladores industriales son generalmente los encargados de forma automática de comparar valores reales de salida de un proceso con los valores de entrada referenciales, dichos valores son los que se desean obtener, además que determina el error y produce una señal de control que reducirá este error a cero o a un valor pequeño que no afecte a las condiciones del proceso, la forma en la cual el controlador industrial genera la señal de control se conoce como acción de control (Iturralde, 2017).

### **2.2.14. Sistema de control**

Un sistema de control es el cual reúne un conjunto de elementos que trabajan en conjunto de forma articulada con el fin de que un proceso industrial funcione de forma correcta. En este sistema se aplica una manipulación de variables de control con el fin de que los valores de entrada alcancen valores permitidos de salida (Iturralde, 2017).

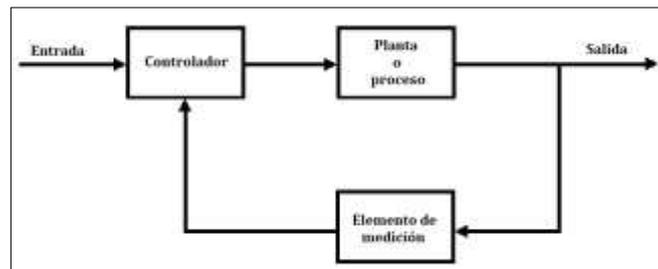


**Ilustración 2-13:** Esquema general de un sistema

Fuente:(Iturralde, 2017)

#### 2.2.14.1. Sistema de control de lazo cerrado

Este sistema se caracteriza por los sistemas de control de lazo cerrado que son los cuales toman su señal de salida que es la variable controlada y la comparan con la señal de control de entrada, al realizar la comparativa entre señal de salida y entrada permite reducir las perturbaciones del sistema (Iturralde, 2017).



**Ilustración 2-14:** Control manual de lazo cerrado

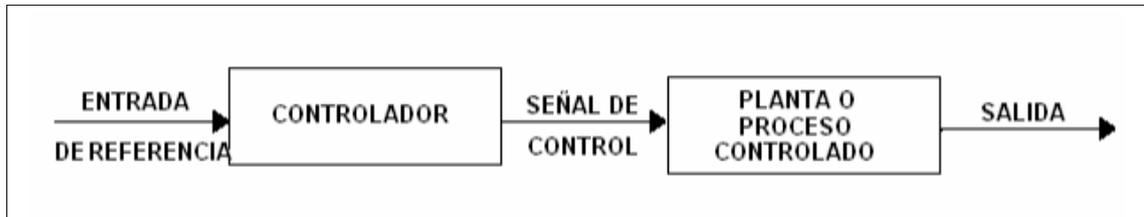
Fuente: (Ruiz, 2019)

#### 2.2.14.2. Sistema de control de lazo abierto

En este sistema la variable de salida o variable controlada no tiene correlación o efecto sobre la variable de control, se puede destacar las siguientes características (Iturralde, 2017).

- No existe una comparativa entre la salida del sistema y el valor deseado de la salida del sistema.
- Existe una operación determinada para cada entrada de referencia.
- La calibración del actuador es significativa para la exactitud de la salida del sistema.
- La presencia de perturbaciones en los sistemas de control produce un mal funcionamiento de este.

El control de lazo abierto es mayormente utilizado en dispositivos con control secuencial, en el no existe una regulación de variables, sino que se opera con una serie de operaciones de manera determinada. Esa secuencia de operaciones se presenta mediante eventos o por tiempo (Iturralde, 2017).



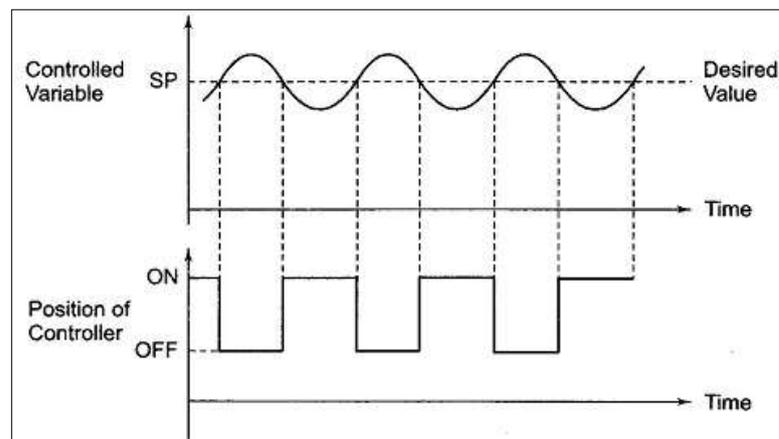
**Ilustración 2-15:** Esquema del sistema de control de lazo abierto

Fuente: (Berenguer, 2007)

### 2.2.15. Clasificación de los controladores industriales

#### 2.2.15.1. Control ON/OFF

Es tipo de control es de dos posiciones es decir que el elemento a controlar solo puede tener dos acciones o posiciones fijas que en su mayoría es encendido o apagado, su implementación es simple y de bajo costo por lo que su uso se ha extendido en el control de procesos industriales que lo ameriten. Es común que los controladores ON/OFF se empleen en dispositivos eléctricos y controladores neumáticos proporcionales con ganancias elevadas (Iturralde, 2017).



**Ilustración 2-16:** Control ON/OFF de una válvula

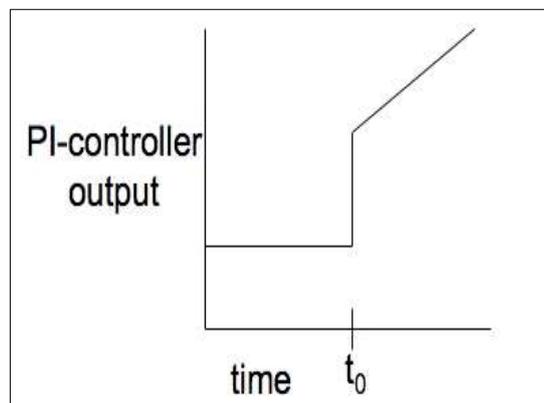
Fuente: (Eguide, 2017)

### 2.2.15.2. Control Proporcional

El control proporcional destaca una relación entre la salida del controlador  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$ , estas están en función de la variable tiempo, aquí se considera una ganancia proporcional  $k_p$  que se le asigna a un control de cualquier mecanismo y la forma de la potencia de operación en si el controlador proporcional es un tipo de amplificador con una ganancia ajustable (Iturralde, 2017).

### 2.2.15.3. Control proporcional e integral

No todos los procesos pueden ser controlados con una desviación, así que es necesario controlar en el punto de control, en estas situaciones se debe agregar una manera nueva de control y esta es la de integral o también llamada de reajuste, dando como resultado un controlador PI (Proporcional & Integral). Este tipo de controlador PI tiene dos parámetros los cuales son  $k_c$  (valor proporcional) y  $T_i$  (tiempo de integración o reajuste minutos/repetición) los cuales se deben ajustar para tener un control que satisfaga el proceso requerido (Iturralde, 2017).



**Ilustración 2-17:** Control P&I

Fuente: (Iturralde, 2017)

### 2.2.15.4. Control proporcional, integral y derivativo

En algunos casos es necesario agregar otro modo de control al controlador PI, dicho modo es la acción derivativa que es llamada como rapidez de derivación o preactuación, su principal objetivo es anticiparse hacia dónde va el proceso es decir observa la rapidez para el cambio de error y se le conoce como control PID (Iturralde, 2017).

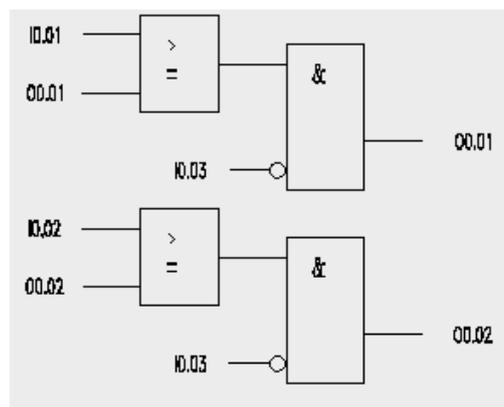
### 2.2.16. Lenguajes de programación para PLC

El PLC es un equipo físico de control automático que posee en su interior los circuitos cableados que no forman parte de los procesos o acciones a controlar. La adecuación del PLC con el proceso a controlar se lo hace mediante un software donde con ayuda de un lenguaje de programación se ingresa la secuencia de los procesos, señales de entrada y salida.

Las señales de entrada se obtienen mediante elementos digitales o analógicos que se enlazan su comunicación con el PLC, las señales de salida se consideran gracias a la programación previa realizada por el usuario las cuales se encuentran almacenadas en la memoria, En el software conjunto con la programación se puede realizar simulaciones de proceso que se llevara a cabo (C. T. A. García, 2008).

#### 2.2.16.1. Bloques de funciones

Este lenguaje es empleado se plantea una programación según gráficos de funciones, para ello tenemos varios bloques de función entre ellos: elemental (EFBs), derivados de función (DFBs), los cuales están conectados a través de señales (variables) en las secciones de FBD. Los EFBs están contienen un número fijo de variables de señales de entrada y pueden ser posicionados en cualquier parte de la sección. Para localizar fácilmente los bloques, todos los EFBs se dividen en categorías por función y por uso (C. T. A. García, 2008).



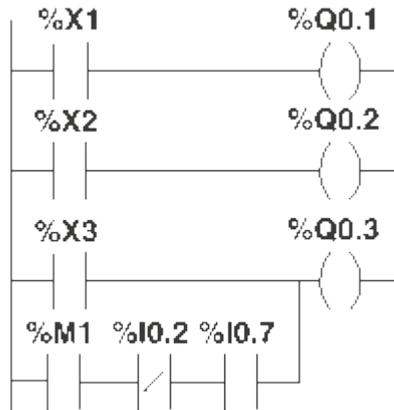
**Ilustración 2-18:** Bloques de funciones

Fuente:(Vessi, 2021)

#### 2.2.16.2. Ladder Diagram

El lenguaje Ladder es una programación secuencial que se asemeja a peldaños de, las variables son las conexiones entre los contactos y las bobinas mediante líneas de secuencias. De la misma

manera las funciones elementales, los EFBs, los DFBs y los bloques de función son definidos por el usuario (UDFBs), estos pueden ser utilizados en el diagrama de escalera. La línea vertical de la izquierda representa la fase de alimentación., sólo los objetos (contactos y bobinas) que están vinculados al suministro de energía eléctrica son compilados (C. T. A. García, 2008).

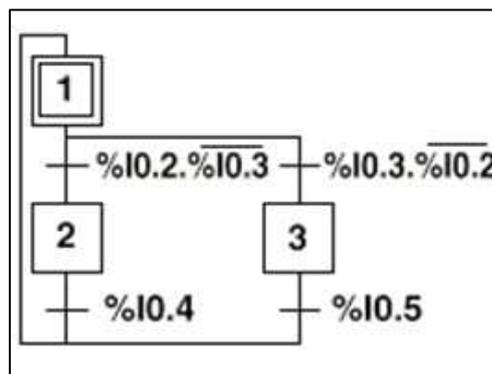


**Ilustración 2-19:**Diagrama Ladder

Fuente: (Vessi, 2021)

### 2.2.16.3. GRAFCET o Secuencial

Se realiza la programación de forma gráfica siguiendo una secuencia de control que tiene un parecido al diagrama de flujo ya que va esperando a un cambio de entrada que sea verdadero o falso, y dependiendo de eso decide si la función se ejecuta o no. Los objetos de un GRAFCET son los que se detallan a continuación (C. T. A. García, 2008).



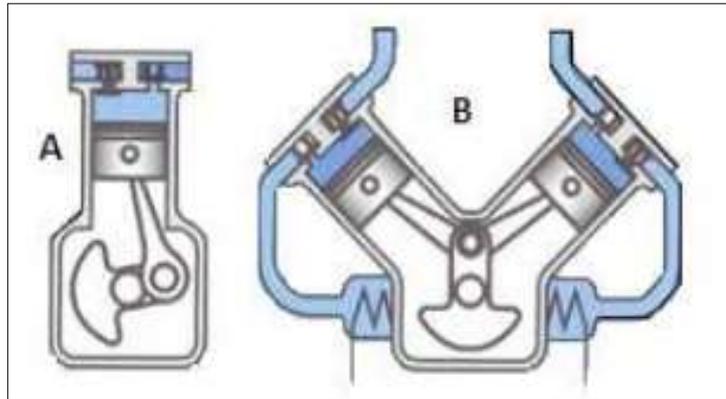
**Ilustración 2-20:** Grafcet

Fuente: (Vessi, 2021)

### 2.2.17. Componentes neumáticos

#### 2.2.17.1. Compresores

Un compresor es una máquina que genera aire comprimido que se lo considera como fluido compresible, esto es posible mediante el intercambio de energía entre la máquina y el fluido, el aire es almacenado en el interior del tanque de almacenamiento y posteriormente utilizado para aplicaciones neumáticas (Centeno & Jiménez, 2010).



**Ilustración 2-21:** Esquema del Compresor de desplazamiento positivo

Fuente:(Centeno & Jiménez, 2010).

#### 2.2.17.2. Cilindros neumáticos

Son actuadores lineales empleados en sistemas neumáticos que transforman la energía estática del aire comprimido, provocando un desplazamiento lineal en forma de avance y retroceso, su aplicación abarca varios usos dentro de la industria como el más importante dentro de la automatización y desplazamientos de alimentación, elevación o sujeción de materiales o elementos de máquinas (Centeno & Jiménez, 2010).



**Ilustración 2-22:** Cilindro neumático

Fuente: (Festo, 2018)

### 2.2.17.3. Válvulas direccionales

Estos elementos son los encargados de mandar o regular la puesta en marcha, paro o dirección de una acción del cilindro neumático además poseen la función de modular las fases de trabajo del aire comprimido o el caudal enviado por un compresor(Centeno & Jiménez, 2010).



**Ilustración 2-23:** Válvula direccional

Fuente: (Festo, 2018)

### 2.2.18. Método de elementos finitos

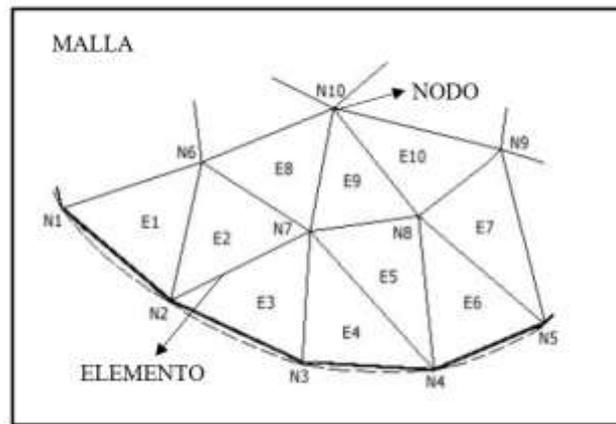
El concepto de Métodos de elementos finitos o MEF por sus siglas en ingles se basa en la implementación de métodos de discretizado espacial y temporal a la proximidad numérica para así poder encontrar una respuesta a problemas ingenieriles o físicos. El cálculo matricial toma una parte esencial dentro del análisis por medio de elementos finitos y que no solo puede resolver problemas de cálculo estructural, sino que también puede ser incluidos en el campo de la conducción de calor y de problemas de elasticidad. La idea principal de elementos finitos es la división del dominio total de cálculo en subdominios los cuales van a tener en común variables en sus uniones denominadas nodos (Napoles Padron et al., 2015).

#### 2.2.18.1. Terminología utilizados en el MEF

Dentro del análisis por medio de métodos de elementos finitos encontramos la siguiente terminología:

- **Elemento:** Se denomina elemento a una parte del dominio y pueden tomar formas tanto triangulares y cuadriláteras.
- **Nodo:** Un nodo es un punto de intersección del dominio, se lo puede considerar como un vértice en el cual convergen varios elementos.

- **Malla:** Una malla es el conjunto de elementos y nodos, la cual cuenta con todos los datos generales para el análisis por Elementos Finitos.



**Ilustración 2-24:** Elementos más comunes en el análisis de Elementos Finitos

**Fuente:** (Napoles Padron et al., 2015)

### 2.2.18.2. Análisis lineal

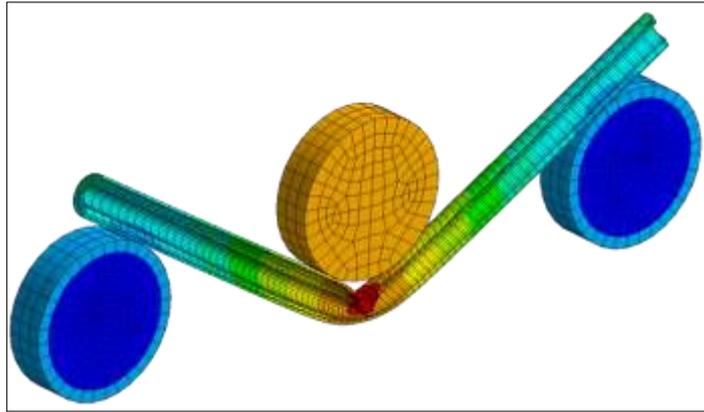
El análisis lineal se basa en el cálculo de tensiones tanto estáticas y dinámicas producidas por cargas, deformaciones y desplazamientos constantes, este análisis es utilizado principalmente en la fase de diseño de un proyecto el cual tiene como objetivos verificar la eficiencia del material, justificar el cumplimiento de una normativa o código de una buena práctica (Napoles Padron et al., 2015).

### 2.2.18.3. Análisis no lineal

El análisis no lineal se basa en el cálculo de tensiones donde sus cargas y deformaciones varían conforme el análisis, es por eso que este análisis cuenta con una gran acogida dentro de la industria de seguridad de defensa, industria de componentes elastoméricos, aplicaciones geotécnicas o el estudio de seguridad vehicular (Napoles Padron et al., 2015).

### 2.2.19. ANSYS y el módulo LS-Dyna

LS-Dyna es una herramienta robusta que nos da la capacidad de solventar problemas de complejidad significativa en el área de diseño. Elementos explícitos 2D y 3D son utilizados en este análisis (N. García, 2009).



**Ilustración 2-25:** ANSYS LS-Dyna

Fuente:(ANSYS, 2024)

LS-Dyna se encarga de los procesos explícitos los cuales son problemas dinámicos en los que se presentan fenómenos de impactos, de contactos entre superficies, grandes deformaciones y múltiples no-linealidades. El sistema debe resolverse completamente (campos de tensión y de deformación) para cada intervalo de tiempo hasta llegar a completar el tiempo total de la simulación para ello se requiere una computadora con una buena capacidad puesto que encontrar la solución consume recursos en gran cantidad para llegar a una solución, cuyo grado de convergencia depende del tamaño que posea el mallado del elemento (N. García, 2009).

En la siguiente tabla 1 se presenta una comparativa entre las metodologías de trabajo de las herramientas del Software ANSYS.

**Tabla 2-2:** Comparativa entre ANSYS, LS DYNA y ANSYS LS-DYNA

	<b>ANSYS</b>	<b>LS-DYNA</b>	<b>ANSYS LS-DYNA</b>
<b>Soluciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implícitas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explícitas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implícitas-Explícitas</li> <li>• Explícitas-implícitas</li> </ul>
<b>Tipo de problema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estáticos</li> <li>• Cuasiestáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinámicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estáticos y dinámicos.</li> </ul>
<b>Comportamiento del sistema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No lineal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineales y no lineales.</li> </ul>
<b>Duración del proceso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuerzas aplicadas durante largos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuerzas aplicadas durante</li> </ul>	

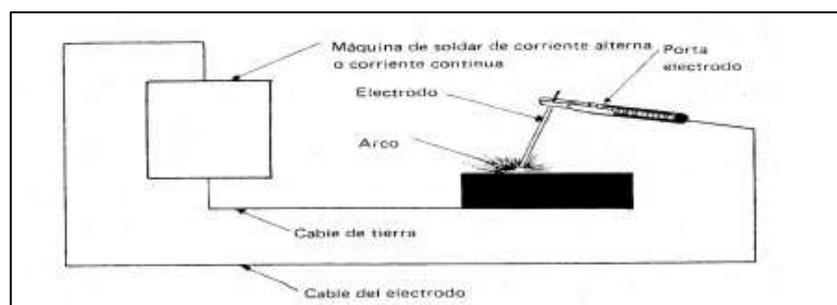
	lapsos de tiempo	cortos lapsos de tiempo	
<b>Tiempo y recurso de CPU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corto</li> <li>• Pocos recursos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy largo</li> <li>• Gran cantidad de recursos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependen del proceso</li> </ul>
<b>Resolución</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una iteración</li> <li>• <math>\Delta t</math> muy grandes</li> <li>• Gran estabilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Múltiples iteraciones</li> <li>• Tiempo total del proceso dividido en <math>\Delta t</math> muy pequeños</li> </ul> <p>Gran inestabilidad</p>	

Fuente:(N. García, 2009)

Realizado por: Díaz, Alex; Pruna, Dimar 2024.

### 2.2.20. Procesos de soldadura SMAW

Dentro del ámbito de construcción estructural la soldadura con arco eléctrico es la más usual y económico, este proceso emplea una fuente de calor y un medio gaseoso provocado por la reacción del revestimiento del electrodo. La temperatura elevada generada por el arco eléctrico hace que sea posible la fusión del metal base y el electrodo empleado (Pérez, 2015).



**Ilustración 2-26:** Soldadura SMAW

Fuente: (Pérez, 2015)

Las soldaduras de filete se realizan más rápidamente y, en algunos casos, se prefieren a este tipo de soldadura en vez del de ranura por motivos económicos, aunque las soldaduras de un solo filete a veces no son tan resistentes como las de ranura. Las juntas soldadas de filete son fáciles de preparar y ajustar en cuanto a los bordes, aunque en ocasiones requieren más material de

soldadura que las juntas de ranura. A menudo, las soldaduras de filete se combinan con otros tipos de soldaduras para mejorar la distribución de los esfuerzos. (Pérez, 2015)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

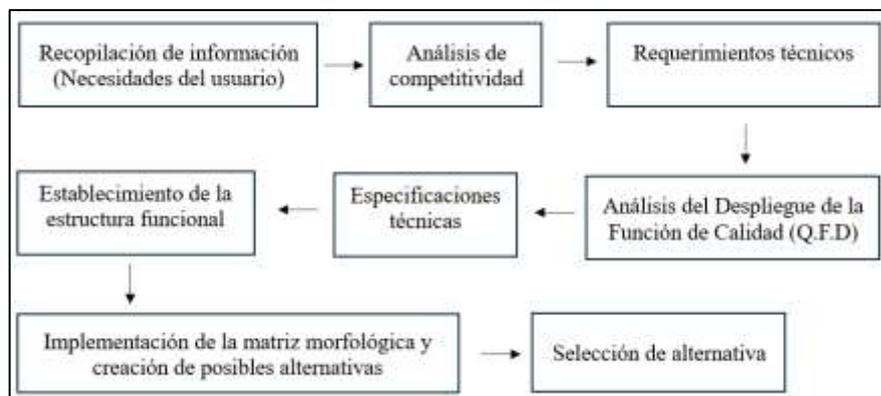
El marco metodológico representa la aplicación de diversas acciones con el fin de describir y estudiar a profundidad el problema planteado, utilizando procedimientos propios que incluyen la observación, experimentación, recolección de data entre otros, acorde al problema a solucionar. En este capítulo se ve evidenciada la aplicación sistemática, secuencial y lógica de los conceptos y fundamentos expuestos en el marco teórico (Azuelo, 2019).

#### 3.1. Definición del producto

Tomando como punto de partida la investigación bibliográfica del capítulo anterior, el presente proyecto parte de una necesidad para la industria láctea enfocada en la elaboración de quesos para lo cual se requieren moldes, se utilizará como base comparativa mecanismos de dobles de tubos, sistemas de sujeción, sistemas de avance, elementos de automatización que nos permitan cumplir con las características, especificaciones y expectativas del cliente.

#### 3.2. Metodología del diseño

Se establecerá de forma secuencial el diseño de la máquina automatizada para doblar platinas empleadas para moldes de queso, tomando en cuenta todos los parámetros necesarios que nos permitan culminar con este proyecto garantizando los objetivos planteados. Para ellos se emplea la metodología QFD partiendo de un diagrama de bloques que se muestra a continuación en la Ilustración 3-1.



**Ilustración 3-1:** Diagrama de bloques para el diseño conceptual.

Realizado por: Pruna, Dimar; Díaz, Alex 2024.

### 3.3. Análisis QFD

La metodología QFD se puede aplicar en diversos ámbitos que requieran la gestión de calidad, especialmente en la creación de productos. Esta técnica es esencial para traducir los requerimientos o necesidades del usuario en características técnicas específicas del producto. La metodología se ejecuta de forma secuencial, de modo que cada paso depende del anterior.

#### 3.3.1. Requerimientos del usuario

##### 3.3.1.1. Voz del usuario

El primer paso es identificar las necesidades del usuario, para lo cual se pueden emplear varios métodos de recopilación de información en el estudio de mercado, como encuestas o entrevistas documentadas con los solicitantes de la máquina. Los resultados obtenidos mediante estas técnicas se presentan en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Requerimientos del cliente

Requerimientos del Cliente	Tipo de demanda
Económica	B
Capacidad	B
Seguridad	B
Fácil mantenimiento	O
Tamaño de la máquina	E
Ajuste no manual	E
Adaptabilidad de tamaño	E
Fácil uso	B

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

Nota: El tipo de demanda se clasificará de la siguiente manera: **B**, Básico; **O**, Unidimensional y **E**, Estimulante.

### 3.3.2. *Requerimientos técnicos*

#### 3.3.2.1. *Voz del ingeniero*

Teniendo en cuenta las condiciones y necesidades dadas por el usuario se procede a establecer los parámetros equivalentes de manera técnica que nos permiten cumplir con los estándares ingenieriles, de diseño, y normativas de construcción. Los requerimientos técnicos se presentan en la Tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Voz del Ingeniero

<b>Voz del Usuario</b>	<b>Voz del Ingeniero</b>
Económica	Selección de materiales, elementos mecánicos y neumáticos
Capacidad	Avance, potencia de motor, fuerza neumática
Seguridad	Elementos de seguridad
Fácil mantenimiento	Fácil desmontaje y acceso a componentes
Tamaño de la máquina	Estructura compacta
Ajuste no manual	Automatización de actuadores
Adaptabilidad de tamaño	Seteado de medidas
Fácil uso	Interfaz intuitiva

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

#### 3.3.2.2. *Correlaciones*

Para establecer una relación entre las demandas del cliente y las características técnicas se establece una correlación entre las dos mediante un factor de incidencia que va desde un valor bajo hasta uno alto y se detalla en la tabla 3-3 y la correlación en la ilustración 2.

**Tabla 3-3:** Voz del Ingeniero

Relación voz del usuario y voz del ingeniero		
Factor de incidencia		
●	Fuerte	9
○	Medio	3
▽	Bajo	1

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

VOZ DEL USUARIO \ VOZ DEL INGENIERO (CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS)		VOZ DEL INGENIERO (CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS)														
		Tipo de demanda	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C	D	E	
1	Económico	B	●	○	○		▽	▽				4	5	4	3	1
2	Capacidad	B	○	●				●	○			5	4	3	3	4
3	Seguridad	B	▽		●	▽		○				4	4	4	4	2
4	Fácil Mantenimiento	○	▽	▽	▽	●	●	▽				3	3	2	2	4
5	Tamaño de la máquina	E	○		○	▽	●					2	5	3	3	4
6	Ajuste no manual	E						●		▽		5	5	3	4	3
7	Adaptabilidad de tamaño	E		▽				●	●	○		3	3	4	4	4
8	Fácil uso	B					▽	○	●	●		3	5	3	4	3

**Ilustración 3-2:** Correlaciones

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.3.3. Análisis de competencias

Dentro del mercado no existen máquinas que ofrezcan los servicios de dobleces de platinas automatizados para moldes de quesos, pero para nuestro estudio se escogieron maquinas dobladoras de tubos que presentan mecanismos similares de pliegue a nuestra propuesta de diseño.

#### 3.3.3.1. Competencia 1

**Nombre:** 38 NC PIPE BENDING

**Marca:** BLMA

**Características:**

- Dimensiones: 3000x1500x1350 mm

- Potencia: 7.5 KW
- Material: acero, latón
- Peso: 2000 Kg
- Rango máximo de doblado: 190°
- Automatización: Semiautomática

**Descripción:**

Esta máquina dobladora de tubos es utilizada en empresas de reparación mecánica, plantas de fabricación y trabajos de construcción ya que puede doblar hasta 6 diámetros de tubos de distinto material (BLMA, 2024).

*3.3.3.2. Competencia 2*

**Nombre:** NC-44TSQ

**Marca:** YLM GLOBAL

**Características:**

- Dimensiones: 2450x775x990 mm
- Potencia: 5 HP
- Material: acero
- Peso: 1250Kg
- Rango máximo de doblado: 190°
- Automatización: Automática

**Descripción:**

Máquina que utiliza una válvula solenoide y un circuito integrado para controlar por separado. El movimiento de flexión es controlado por un dispositivo de posición de baja velocidad (YLM, 2024).

*3.3.3.3. Competencia 3*

**Nombre:** EPB-3

**Marca:** KAKA INDUSTRIES

**Características:**

- Dimensiones: 70x33x51 in
- Fuente de alimentación: Hidráulico
- Material: acero

- Peso: sin especificar
- Rango máximo de doblado: 190°
- Automatización: Semiautomática

**Descripción:**

Máquina semiautomática dobladora de tubos de hasta 3” con sistema hidráulico tanto de sujeción y de plegado con indicador manual de profundidad de curvatura (KAKA, 2024).

**3.3.4. Análisis de competitividad**

Este apartado se incorpora a la casa de calidad para determinar el grado de satisfacción que puede tener la competencia con respecto a cada demanda del producto por parte de los usuarios, con la finalidad de encontrar debilidades a superar en áreas como calidad, costo, funcionamiento entre otros y se evalúan los grados de cumplimiento en el rango del 1 al 5, a su vez se obtiene el índice de mejora utilizando la Ecuación 3-1:

$$I = \frac{O}{A} \qquad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

**I:** Índice de mejora

**O:** Calificación objetivo

**A:** Propia de nuestro proyecto

Para encontrar los valores de ponderación se involucra el factor de venta el cual depende de la importancia de la necesidad del cliente y este valor afecta directamente proporcional a la ponderación de dicha necesidad, los valores para el factor de venta se pueden ver en la Tabla 3-4, y los valores de índice de mejora y sus respectivas ponderaciones en la Ilustración 3-3.

**Tabla 3-4:** Factor de venta

Factor de venta		
Fuerte	1,5	●
Posible	1,2	●
Ninguno	1	•

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

Las ponderaciones se determinan mediante el uso de la **Ecuación 3-2:**

$$P = M.I.F$$

**Ecuación 3-2**

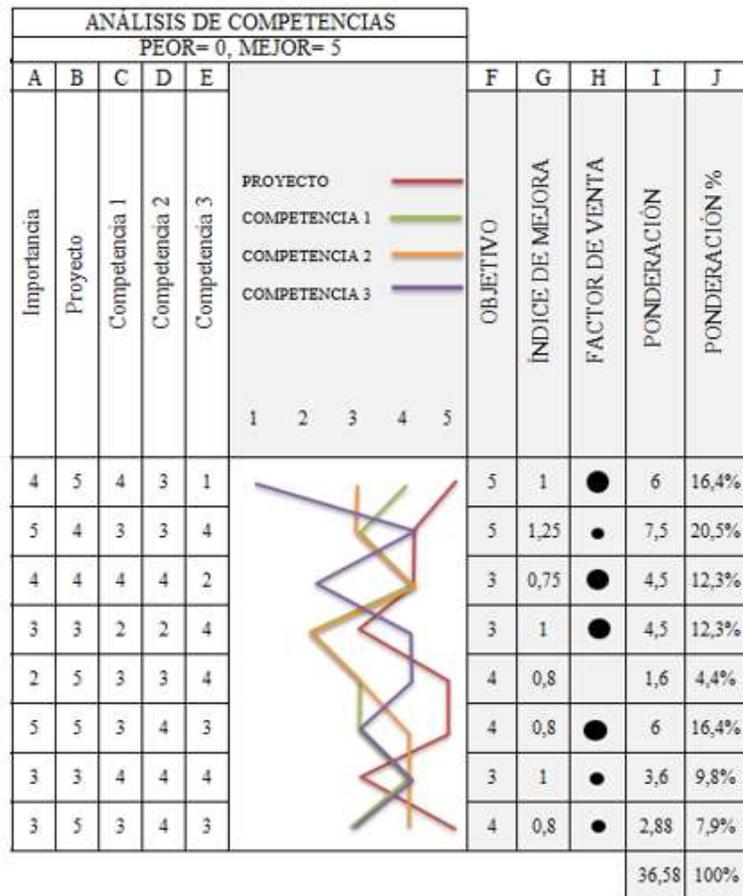
Donde:

**P:** Ponderación

**M:** Importancia

**I:** Índice de mejora

**F:** Factor de venta



**Ilustración 3-3:** Análisis de competitividad

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.3.5. Evaluación técnica

La evaluación técnica consiste en realizar una ponderación con el objetivo de comparar la máquina de nuestro proyecto y de la competencia, donde se coloca las especificaciones del producto de la voz del ingeniero con valores cuantitativos como se muestra en la ilustración 4. Además, el valor de incidencia es el cual nos indica el peso que tiene cada característica técnica en la parte de diseño lo que permite darle prioridad a determinada especificación y se la calcula mediante la **Ecuación 3-3:**

$$Imp = \sum Id \cdot Sdt$$

Donde:

**Imp:** Importancia del criterio evaluado

**Id:** Incidencia de la característica técnica

**Sdt:** Valor de ponderación

PROPIA MÁQUINA	4	5	5	4	4	5	4	5	
COMPETENCIA 1	4	2	4	3	3	3	4	4	
COMPETENCIA 2	3	3	4	3	3	4	4	4	
COMPETENCIA 3	1	2	1	4	4	3	4	2	
INDICENCIA	90,3	93,6	67,8	46,6	63,8	187	80,8	42,7	672,16
INDICENCIA %	13,4%	13,9%	10,1%	6,9%	9,5%	27,8%	12,0%	6,4%	100,0%
ESPECIFICACIONES	3000\$	1 HP	Guardias de seguridad	MTTR [3h]	1000x500x1000 mm	PLC	500 B o 1000g	HMI	

**Ilustración 3-4:** Evaluación técnica

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.3.6. Compromisos técnicos

Este apartado va ubicado en el techo de la casa de la calidad y nos indica como es la correlación entre las especificaciones técnicas del producto, si existe una correlación positiva nos indica que al mejorar una especificación técnica también afectara de manera positiva a otra haciéndola que mejore, en cambio al ser una correlación negativa nos indica que es inversamente proporcional entonces si una mejora la otra empeora, y si no hay correlación no hay influencia de la una con la otra especificación técnica. Para la evaluación se tiene 4 niveles que se detallan en la Tabla 3.5.

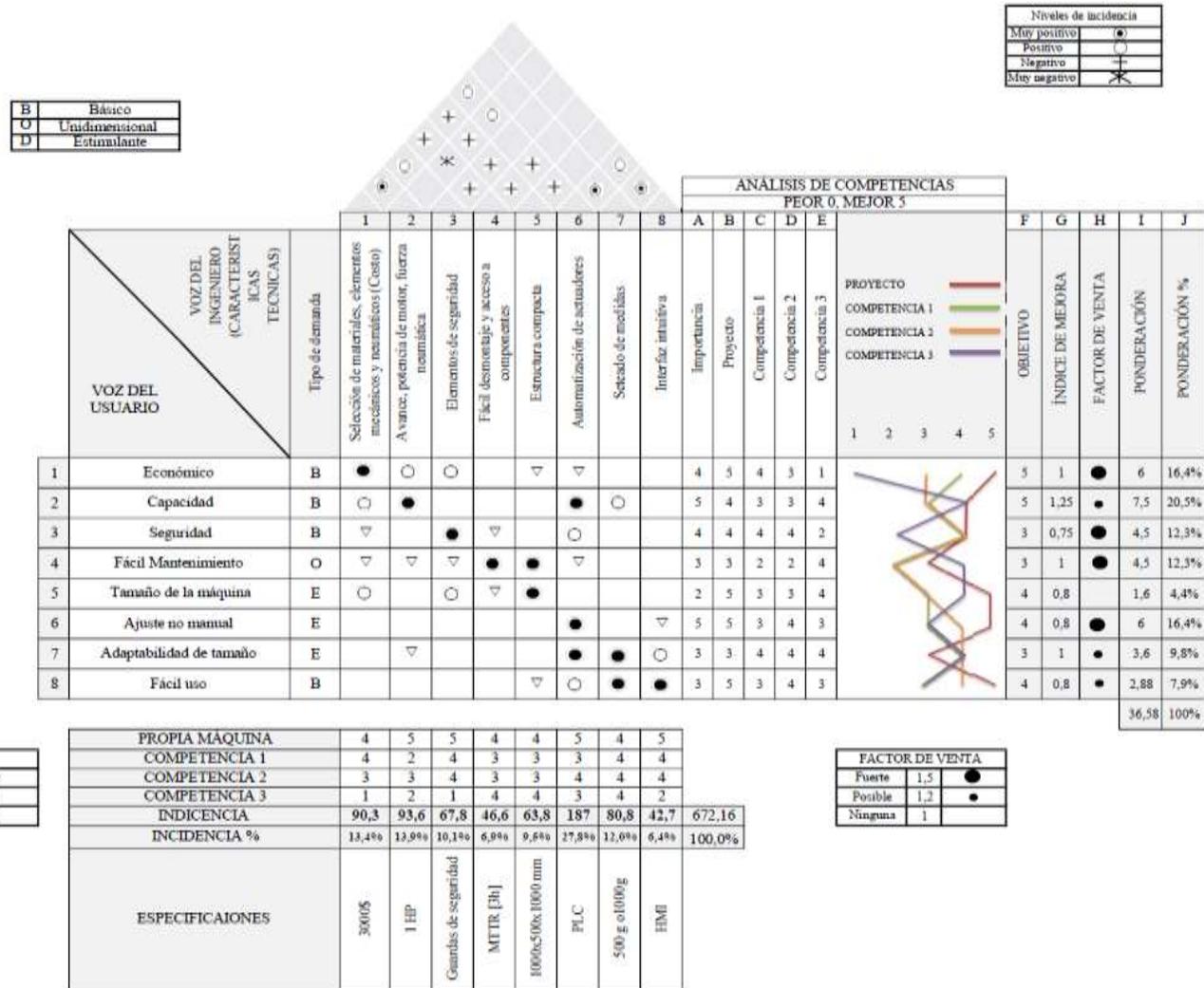
**Tabla 3-5:** Compromisos técnicos

Niveles de incidencia	
Muy positivo	●
Positivo	○
Negativo	+
Muy negativo	✖

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### **3.3.7. Casa de calidad**

En la ilustración 5 se presenta la casa de calidad completa, la cual abarca todos los parámetros y ponderaciones previamente calculados. Estos se emplearán para diseñar la máquina y considerar aspectos de mejora.



**Ilustración 3-5:** Despliegue de la casa de calidad

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.3.8. Especificaciones técnicas

Una vez finalizada la casa de calidad se presenta una ficha con las especificaciones técnicas generales de la máquina que se va a construir previo a un diseño, dichas especificaciones se muestran en la **Tabla 3-6**.

**Tabla 3-6:** Especificaciones técnicas

<b>Empresa Cliente:</b> Usuario/Cliente		<b>Producto:</b> DOBLADORA DE PLATINAS DE ACERO INOXIDABLE		<b>Fecha Inicial:</b> abril 2024 <b>Fecha Final:</b> agosto 2024
<b>Diseñadores:</b> Dimar Pruna Alex Diaz				Página 1
<b>Especificaciones técnicas</b>				
<b>Detalles Constructivos</b>				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
<b>Capacidad de trabajo</b>	Sin especificar	D	R	1 molde por 1 min y 30 s
		C	R	El tiempo de uso de trabajo será de: 8h
<b>Materiales</b>	Sin especificar	C	R	Acero Estructural: ASTM A36 Acero inoxidable: 304
<b>Mantenimiento y vida útil</b>	Sin especificar	D	R	Fácil mantenimiento (revisión semestral): sistema mecánico sistema eléctrico Sistema neumático
<b>Conexión eléctrica</b>	Sin especificar	C	R	Tensión de alimentación: 220 V
<b>Velocidad de avance</b>	Sin especificar	D	R	Una velocidad: 10-100 mm/s
<b>Automatización/control</b>	Sin especificar	C	R	Interfaz amigable y fácil de comprender para el operario.
<b>Seguridad</b>	Sin especificar	D	R	Paro de emergencia Salva guardas
Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseñadores, P=Producción, F=Fabricación. R/D: R=Requerimiento, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimientos				

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.4. Diseño conceptual

El diseño conceptual es el punto de partida para encontrar posibles alternativas de solución cumpliendo las demandas de los usuarios y las especificaciones técnicas del ingeniero, para esto se hace un estudio de la funcionalidad y estructura funcional del modelo que da paso a la matriz

morfológica, una vez con las alternativas se emplea una evaluación con el método ordinal corregido de criterios ponderados que forman parte del análisis completo del QFD.

### 3.4.1. Análisis funcional

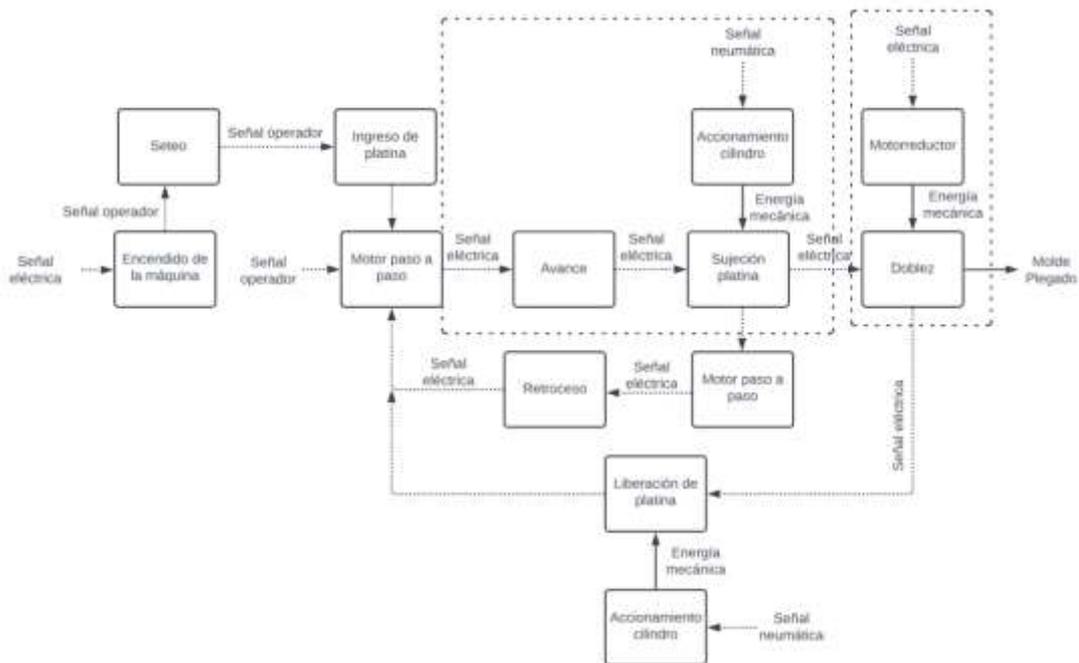
El análisis funcional es empleado para describir como los parámetros de entrada se transforman en parámetros de salida, a continuación, en la ilustración 6 se indican los procesos de la dobladora de palatinas de acero.



**Ilustración 3-6:** Nivel 0

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

El nivel uno, que se muestra en la Ilustración 3-7, es el desglose detallado y secuencial del nivel cero. En este nivel, se describe cómo cada parámetro de entrada interactúa con los módulos de trabajo de la máquina, así como los parámetros de salida correspondientes.



**Ilustración 3-7:** Nivel 1

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

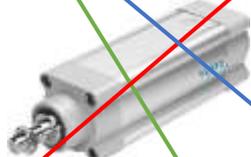
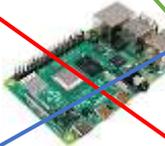
### 3.4.2. Evaluación de la estructura funcional

Al desarrollar el nivel 0 y nivel 1 se puede tener una idea clara de las diferentes etapas de accionamiento, funcionamiento y viabilidad que tendrá la máquina dobladora de platinas esto con el fin de que posteriormente no tengamos inconvenientes con respecto a la organización y selección de componentes lo que permitirá un trabajo correcto de la máquina.

### 3.4.3. Matriz morfológica

Una vez definidos los parámetros de la máquina dobladora de platinas y sus correlaciones, se procede a desarrollar varias alternativas de solución. Para ello, se emplean funciones específicas que tendrá la máquina, y cada función contará con los elementos necesarios para satisfacerla adecuadamente.

**Tabla 3-7:** Matriz morfológica

Función		Componentes		
1	Doble			
		Motorreductor	Cilindro neumático	
2	Sujeción			
		Motorreductor	Cilindro neumático	Cilindro hidráulico
3	Controlador			
		Arduino	RASPBERRY	PLC
4	Avance			
		Tornillo sin fin	Pinzas	

5	Actuador de avance				
		Motor paso a paso		Cilindro neumático	
6	Transmisión de potencia				
		Cadenas		Poleas	
7	Panel de control				
		Botonera		HMI	

Alternativas	1 ——— 2 ——— 3 ———
--------------	-------------------

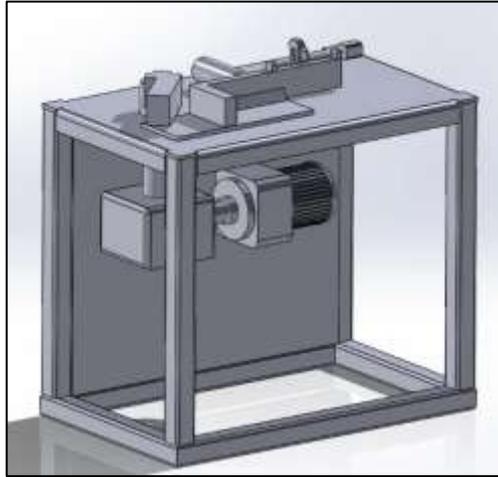
Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.4.4. Generación de alternativas

En base a la matriz morfológica se obtienen 3 alternativas de diseño que constan de diferentes componentes para formar una dobladora de platinas con especificaciones diferentes. A continuación, se describe a cada una de ellas:

#### 3.4.4.1. Alternativa 1

La alternativa 1 constará de un mecanismo de doblez impulsado por un motorreductor el cual la sujeción de la platina será realizará por un cilindro hidráulico. La transmisión de potencia desde el motor hacia el mecanismo de dobles se lo realizará mediante engranes. El control automático de todo el sistema será mediante un controlador Arduino.



**Ilustración 3-8:** Alternativa 1

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

**Elementos:**

- Motorreductor
- Cilindro hidráulico
- Arduino
- Pinzas
- Motor paso a paso
- Transmisión por engranes
- Botonera

**Ventajas:**

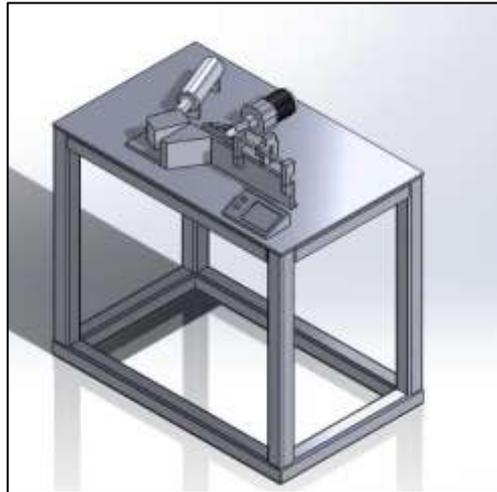
- Existe una reducción de costos considerando el controlador a utilizar.
- La transmisión por engranes representa un control más preciso comparado al por bandas.

**Desventajas:**

- El Arduino no presenta una gran capacidad de control para este tipo de máquinas.
- La máquina presenta una superficie de trabajo considerable comparado con las otras alternativas.
- Representa diseñar la transmisión de potencia mediante engranes desde el motorreductor hacia el mecanismo de doblez.

#### 3.4.4.2. Alternativa 2

La alternativa 2 va a contar con un cilindro neumático que generará el doblado de las platinas, sumándose un motorreductor en el proceso de sujeción de la platina y mediante una pinza se realizará el avance deseado. El control eléctrico se encargará un Raspberry que contará con un panel de control tipo HMI.



**Ilustración 3-9:** Alternativa 2

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Díaz, Alex 2024.

#### **Elementos:**

- Cilindro neumático
- Motorreductor
- RASPBERRY
- Pinzas
- Cilindro neumático
- Transmisión por poleas
- HMI

#### **Ventajas:**

- Costos de equipos de automatización son reducidos.
- Cuenta con una interfaz HMI

#### **Desventajas:**

- Automatización del doblado difícil de programar al ser realizada por un controlador Raspberry.

- La implementación del cilindro del doblez implica mayor espacio sobre la superficie.
- Aumento de espesor de la plancha de la superficie de la mesa para soportar todos los elementos.

#### 3.4.4.3. Alternativa 3

Esta alternativa consta de un mecanismo de doblez impulsado por un motorreductor con un sistema de sujeción que será a través de un cilindro neumático el cual se encargara de sujetar la platina para su posterior pliegue, para la automatización tendrá una programación que se cargara en un PLC el cual será el encargado de accionar en forma secuencial tanto el mecanismo de sujeción, avance y pliegue.



**Ilustración 3-10:** Alternativa 3

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

#### **Elementos:**

- Motorreductor
- Cilindro neumático
- PLC
- Tornillo sin fin
- Motor paso a paso
- Transmisión de potencia por cadenas
- HMI

#### **Ventajas:**

- Mejor automatización al contar con un PLC industrial.

- Mejor distribución de los elementos para optimización de espacios.
- Cuenta con un sistema de cadena que permite igual precisión que el realizado por engranes.
- La implementación de un HMI permite una rápida interacción con el interfaz de funcionamiento.

**Desventajas:**

- Costo total de la máquina incrementa por los equipos de automatización.

**3.5. Método ordinal corregido de criterios ponderados**

Este método se utiliza para evaluar y comparar de manera cuantitativa la mejor solución entre las alternativas elegidas en base a la matriz morfológica. La evaluación del peso específico se realizó en base a los criterios necesarios que se necesitan para la toma de la mejor decisión.

Para este método se asignan los siguientes valores dependiendo de la prioridad entre criterios:

1 = Si el criterio de la fila es superior a la prioridad de la columna.

0.5 = Si el criterio de la fila tiene la misma prioridad que de las columnas.

0 = Si el criterio de la fila es inferior a la prioridad de la columna.

**3.5.1. Criterios de evaluación de alternativas**

Los criterios para evaluar con mayor relevancia que se tiene para la construcción de la máquina dobladora de platinas se detallan a continuación:

- **Costo:** Este criterio corresponde al valor económico que tendrá la máquina una vez culminada la construcción.
- **Automatización:** Se enfoca en el grado y complejidad en el control automático que posee cada alternativa desde control de los actuadores hasta la interfaz de interacción
- **Capacidad:** La potencia requerida con la cual realizara los plegados del molde.
- **Dimensiones:** Este parámetro es importante porque determina el espacio máximo que ocupará la máquina en las instalaciones del cliente.
- **Seguridad:** Se refiere a la existencia de componentes de seguridad que permiten salvaguardar la integridad del operario

### 3.5.2. Evaluación de los pesos específicos de cada alternativa

La evaluación del peso específico se lo realiza en base a la asignación de prioridades considerando sus valores anteriormente mencionados dependiendo del grado de superioridad entre cada aspecto a analizar.

La evaluación del peso específico se realizó a cada criterio.

Costo > Automatización > Capacidad = Seguridad > Dimensiones

**Tabla 3-8:** Evaluación del peso específico de cada criterio.

CRITERIOS	Costo	Automatización	Capacidad	Dimensiones	Seguridad	$\Sigma +1$	Ponderación
Costo		1	1	1	1	5	0,33
Automatización	0		1	1	1	4	0,27
Capacidad	0	0		1	0,5	2,5	0,17
Dimensiones	0	0	0		0	1	0,07
Seguridad	0	0	0,5	1		2,5	0,17
						15	1

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.5.3. Evaluación de los pesos específicos de las diferentes soluciones para cada criterio

Primero se define el criterio costo mostrado en la Tabla 3-9 con un orden de importancia como se muestra a continuación:

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2

**Tabla 3-9:** Evaluación del peso específico costo

COSTO	Alternativa1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sum+1	Ponderación
Alternativa 1		1	0	2	0,33
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	1	1		3	0,50
				6	1

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

A continuación, se define el criterio automatización de las tres alternativas como se muestra en la Tabla 3-10 con el siguiente orden:

Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1

**Tabla 3-10:** Evaluación del peso específico automatización

<b>AUTOMATIZACIÓN</b>	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sum+1	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0	2	0,33
Alternativa 3	1	1		3	0,50
				6	1

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

A continuación, se define el criterio capacidad de las tres alternativas como se muestra en la Tabla 3-11 con el siguiente orden:

Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2

**Tabla 3-11:** Evaluación del peso específico capacidad

<b>CAPACIDAD</b>	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sum+1	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,50
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0	1		2	0,33
				6	1

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

A continuación, se define el criterio dimensiones de las tres alternativas como se muestra en la Tabla 3-12 con el siguiente orden:

Alternativa 3 = Alternativa 2 > Alternativa 1

**Tabla 3-12:** Evaluación del peso específico dimensiones

<b>DIMENSIONES</b>	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sum+1	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,42
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,42
				6	1

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

A continuación, se define el criterio dimensiones de las tres alternativas como se muestra en la Tabla 3-12 con el siguiente orden:

Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1

**Tabla 3-13:** Evaluación del peso específico seguridad

SEGURIDAD	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sum+1	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,25
Alternativa 3	1	1		3	0,50
				6	1

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.5.4. Evaluación de la prioridad de las alternativas

Una vez que se realizó el análisis de los pesos específicos de cada alternativa, se procede a recolectar la información necesaria en la **Tabla 3-14** dándonos como resultado lo siguiente:

**Tabla 3-14:** Evaluación de la prioridad de cada alternativa

Criterios	Costo	Automa-tización	Capacidad	Dimensiones	Seguridad	Ponderación	Prioridad
Alternativa 1	0,11	0,04	0,08	0,01	0,04	0,29	2
Alternativa 2	0,06	0,09	0,03	0,03	0,04	0,24	3
Alternativa 3	0,17	0,13	0,06	0,03	0,08	0,47	1
						1,00	

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

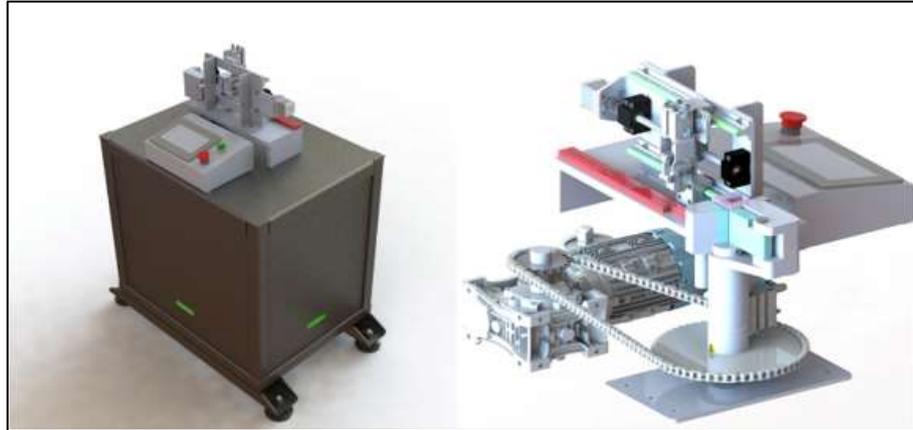
En base al método ordinal corregido de criterios ponderados se obtiene como conclusión que la alternativa 3 con un 47 % obtiene el mayor porcentaje de aceptación como la alternativa a construir.

### 3.6. Diseño de Materialización

Con la mejor alternativa seleccionada que conformará la maquina a construir se procede al diseño de los componentes necesarios para llegar al producto final. Este proceso incluirá construcción de una estructura, el diseño de elementos mecánicos como ejes y selección de componentes como cadenas, catalinas, motores entre otros que se lo detallará en los siguientes apartados.

#### 3.6.1. Modelado 3D

El modelado CAD 3D se basa en emplear un software destinado a esta función como es el caso de SolidWorks que nos permite generar una representación tridimensional de la máquina dobladora a construir tomando en cuenta los diferentes parámetros y componentes de la alternativa seleccionada en el diseño conceptual del apartado anterior.



**Ilustración 3-11:** Modelado de la máquina completa

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### **3.6.2. Características principales**

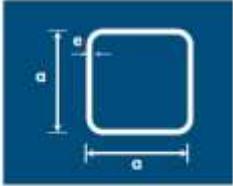
La máquina automática dobladora de platinas contará con las siguientes características principales:

- Peso total: 163,015 [Kg]
- Capacidad de doblado: 400 aros de queso al día a 100 mm/s de avance
- Precio Máximo: 2683,94
- Dimensiones generales: 980x600x1110 [mm]
- Operatividad sencilla e intuitiva mediante interfaz HMI
- Sistema de transmisión de potencia mediante cadenas
- Sistema de sujeción Neumático

### **3.6.3. Selección de materiales**

#### **3.6.3.1. Perfil estructural**

En base a la simulación de la resistencia de la estructura detallada posteriormente en el Capítulo IV nos permite seleccionar en el catálogo de NOVACERO un perfil cuadrado ASTM A36 de 50x50x2 [mm] el cual resiste a las condiciones de funcionamiento y cargas de la máquina, además que se lo puede encontrar fácilmente en el mercado nacional ecuatoriano (NOVACERO, 2024).



**Uso del producto:** Cerramientos, Cubiertas especiales, Juegos infantiles, Pasamanos, Fabricación de andamios, Tubos para postes de luz.

**Otros Usos:** Estructuras para letreros, Máquinas para gimnasio, Asientos para vehículos, Maquinaria industrial, Galpones.

Denominación	Dimensión a	Espesor e	Peso	
			kg/m	kg/6m
3/4	20	1.50	0.86	5.26
		2.00	1.13	6.78
1	25	1.50	1.46	8.90
		2.00	1.97	11.92
1 1/4	30	1.50	1.80	10.79
		2.00	2.42	14.52
1 1/2	37	1.50	2.27	13.62
		2.00	3.00	18.00
2	50	1.50	2.32	13.93
		2.00	3.13	18.75
		3.00	4.62	27.69

**Ilustración 3-12:** Perfil cuadrado ASTM A36

Fuente:(NOVACERO, 2024)

### 3.6.3.2. Barra lisa de acero comercial

En base a los análisis obtenidos en el capítulo 4 se escoge una barra lisa de acero comercial ASTM A36, con las dimensiones que se detallan a continuación.

Denominación	a	Peso		Área
	mm	kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>
BR 25	25	3.85	23.10	4.91
BR 28	28	4.83	29.98	6.16
BR 32	32	6.31	37.86	8.04
BR 36	36	7.99	47.94	10.20

**Ilustración 3-13:** Barra lisa de acero comercial

Fuente:(NOVACERO, 2024)

### 3.6.3.3. Planchas para cubierta de la estructura

Bajo las condiciones antes mencionadas se eligió una plancha ASTM A36 de 1220x2440x6 [mm].

Dimensiones	Espesores	Calidad del Acero
	mm	
1220 x 2440	1.20 a 6.00	Comercial
1220 x 2440	8/10/12/15/20/22/25	Estructural
1500 x 6000*	8/10/12/15/20/22/25	Estructural

**Ilustración 3-14:** Plancha ASTM A36

Fuente:(NOVACERO, 2024)

#### 3.6.3.4. *Platinas para aros de queso*

Dentro de la industria alimenticia se pueden utilizar varios tipos de acero inoxidable de grado alimenticio. Con la simulación del doblado en el software LS-Dyna se verifica que tipo de acero inoxidable presenta un mejor comportamiento mecánico al realizarse un doblado y una maleabilidad acorde a nuestras necesidades geométricas.

#### 3.6.4. *Cálculo de fuerza necesaria para el plegado en “L” de la platina*

Del molde de referencia se obtiene los siguientes valores de radios  $r_1$ ,  $r_2$  y el espesor de la platina  $t$ :

$$r_1 = r_2 = 7 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

$$w = 60 \text{ mm}$$

Utilizando la **Ecuación 2-3** verificamos que cumpla las condiciones

$$5 * 1,5 > 5$$

$$7,5 > 5 \text{ cumple}$$

$$5 > 1,5 \text{ cumple}$$

$$L = r_1 + r_2 + t$$

$$L = 7 + 7 + 1,5 = 15,5 \text{ mm}$$

Para el cálculo se empleará la **Ecuación 2-1** que nos da lo siguiente:

$$P_L = 0.33 * \left( \frac{276 * 60 * 1,5^2}{15,5} \right)$$

$$P_L = 793,27 \text{ N}$$

$$P_L \approx 794 \text{ N}$$

#### 3.6.5. *Cálculos para selección de motor y motorreductor*

Para la selección del motor y el motorreductor adecuados se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- La fuerza necesaria para el plegado de la platina  $F = P_L$

- El diámetro del piñón conductor en donde se llegó a la mejor alternativa de trabajar con un piñón de diámetro de 80 [mm] para obtener el torque y de esta manera obtener la potencia adecuada del motorreductor
- Revoluciones de salida del sistema de plegado de 7 a 10 [rpm], estas revoluciones se obtuvieron de una prueba empírica con una dobladora manual dándonos un constante y correcto giro para el pliegue con estas velocidades.

Datos requeridos para la selección:

$$P_L = F = 794 [N]$$

$$d = r = \frac{80}{2} = 40 [mm] = 0,04 [m]$$

$i_1 = 2,7$  valor obtenido de la selección del sistema de potencia

$i_2 = 80$  Relación de transmisión de la caja reductora

Haciendo uso de la **Ecuación 2-4** se encuentra el momento necesario para realizar el pliegue

$$T_r = F * d = P_L * r$$

$$T_r = 794 * 0,04$$

$$T_r = 31,76 [Nm]$$

La velocidad de giro del motor  $n_1$  que a su vez es la velocidad de entrada al motorreductor por el catálogo de selección nos da una velocidad general de 1750 rpm, lo cual nos indica que los motores por debajo de esa velocidad cumplen con la función requerida, además que es el motor recomendado por la empresa para el motorreductor seleccionado.(MOTIVE, 2024)

BOX PERFORMANCE TABLES	
Max input Power $M_1$ or output torque $M_2$ with s.f.=1 with input (motor) speed $n_1 = 1750$ (rpm)	

**Ilustración 3-15:** Velocidad nominal del motor

Fuente: (MOTIVE, 2024)

TYPE	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	BOX D40		
												7.5	10	
BOX D40	1.12	1.52	2.24	2.96	3.68	4.40	5.12	5.84	6.56	7.28	8.00	8.72	9.44	10.16
	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%
BOX D40	1.12	1.52	2.24	2.96	3.68	4.40	5.12	5.84	6.56	7.28	8.00	8.72	9.44	10.16
	87.00%	85.00%	81.00%	78.00%	75.00%	72.00%	69.00%	66.00%	63.00%	60.00%	57.00%	54.00%	51.00%	48.00%

**Ilustración 3-16:** Eficiencia dinámica

Fuente: (MOTIVE, 2024)

Para hallar el Torque de salida nominal del motorreductor se utiliza la **Ecuación 2-7** juntamente con la **Ecuación 2-5** para hallar la velocidad de salida  $n_2$ .

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_2} = \frac{1750}{80} = 21,875 \text{ [rpm]}$$

$$M_2 = \frac{P_1 * 9550}{n_2} * \eta_d = T_m$$

$$Pot = 0,2 \text{ [Hp]} = 0,15 \text{ [kW]}$$

$$T_m = \frac{0,15 * 9550}{21,875} * 0,5$$

$$T_m = 32,74 \text{ [Nm]}$$

$$T_r < T_m \text{ cumple}$$

Además, que con la velocidad de salida del motorreductor y la relación de transmisión de potencia nos indica que se encuentra dentro del rango de las revoluciones necesarias para el doblado de la platina.

$$n_{2s} = \frac{n_1}{i_1} = \frac{21,875}{2,7} = 8,10 \text{ [rpm] cumple}$$

Se seleccionó los siguientes en base a los valores:

- MOTOR MOTIVE DELPHI de 0,2 HP-4 polos-60 Hz
- MOTORREDUCTOR NEMA BOX 40X80

Espec.	i	n <sub>2</sub> (rpm)	M <sub>2</sub> (Nm)	P <sub>2</sub> (Hp)
30	7.5	200.0	155	0.70
	10	175.0	155	0.55
	15	116.7	157	0.40
	20	87.5	160	0.32
	25	70.0	160	0.25
	30	58.3	174	0.22
	40	43.8	150	0.20
	50	35.0	150	0.16
	60	29.2	150	0.14
	80	21.9	116	0.10
40	7.5	200.0	255	1.22
	10	175.0	260	1.10
	15	116.7	260	0.80
	20	87.5	240	0.62
	25	70.0	251	0.52
	30	58.3	267	0.54
	40	43.8	275	0.40
	50	35.0	267	0.32
	60	29.2	215	0.22
	80	21.9	200	0.20
100	17.5	200	0.16	

**Ilustración 3-17:** Catálogo de motorreductores y motores MOTIVE

Fuente: (MOTIVE, 2024)

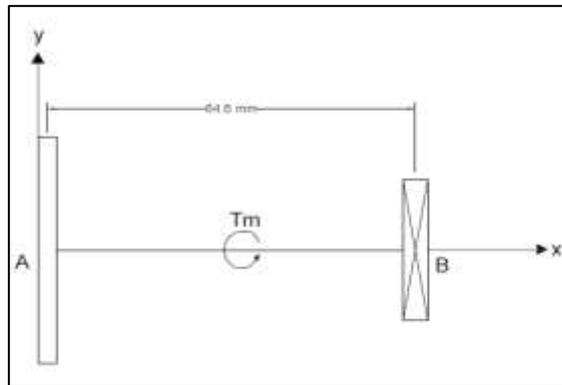
### 3.6.6. Diseño del eje Motorreductor-Piñón motriz

Para el diseño de este eje se parte de los datos obtenidos en la selección del motor, el cual nos brinda los siguientes parámetros:

$$Pot = 0,2 \text{ Hp} = 0,15 \text{ kW}$$

$$n_1 = 1750 \text{ rpm}$$

Realizamos una representación 2D de los componentes que serán montados en el eje:



**Ilustración 3-18:** Esquema de los componentes

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

El eje va conectado al motorreductor el cual tendrá una velocidad  $n_2$  y se la calcula con la relación de transmisión de la caja reductora y se grafica el diagrama de cuerpo libre de los componentes para calcular las fuerzas que estarán actuando.

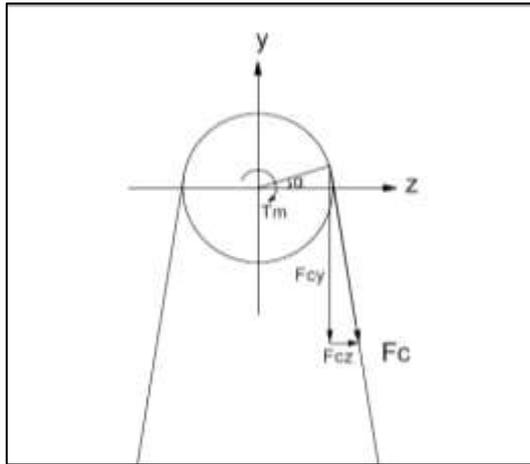
#### **Datos:**

$$i = 80$$

$$r = 40 \text{ [mm]}$$

$$Pot = 0,15 \text{ kW}$$

$$\alpha = 9,12^\circ$$



**Ilustración 3-19:** Diagrama de cuerpo libre

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1750 \text{ rpm}}{80} = 21,9 \text{ [rpm]}$$

$$T_m = \frac{9549 * Pot \text{ [kw]}}{n_2 \text{ [rpm]}}$$

$$T_m = \frac{9549 * 0,15}{21,9} = 65,4 \text{ [Nm]}$$

El torque  $T_m$  es el torque ideal calculado (el cual se emplea en el diseño), sin la consideración del 50% de eficiencia que nos muestra en el catálogo de selección.

$$F_c = \frac{T_m}{r}$$

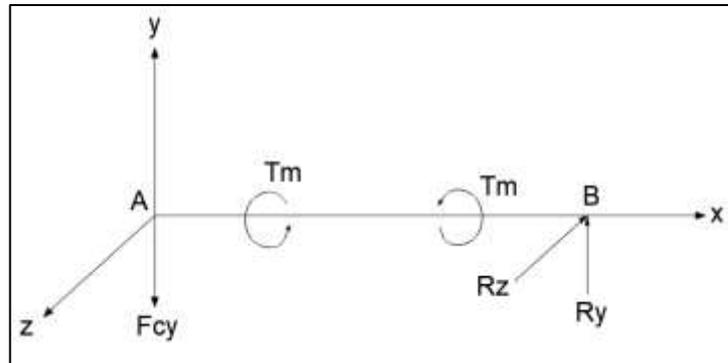
$$F_c = \frac{65,4 \text{ [Nm]}}{0,040 \text{ [m]}} = 1635 \text{ [N]}$$

$$F_{cy} = \cos(\alpha) * F_c$$

$$F_{cy} = \cos(9,12) * 1635$$

$$F_{cy} = 1614,33 \text{ [N]}$$

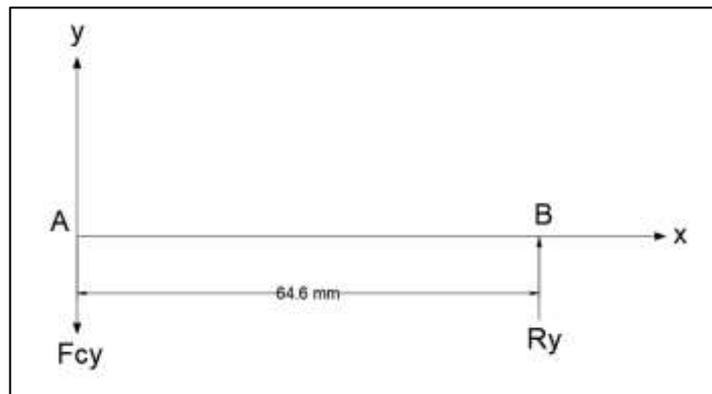
Se procederá a realizar el diagrama isométrico que involucre todas las fuerzas que actúan en el eje como se muestra en la **Ilustración 3-20**.



**Ilustración 3-20:** Diagrama isométrico de fuerzas

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

Se procede a calcular las reacciones en los apoyos para lo cual se realizará un diagrama 2D donde se pueda visualizar las cargas que intervienen en cada uno de los puntos y así se podrá hallar las reacciones en dichos puntos como se muestra en la **Ilustración 3-21**.



**Ilustración 3-21:** Diagrama 2D del plano x-y

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

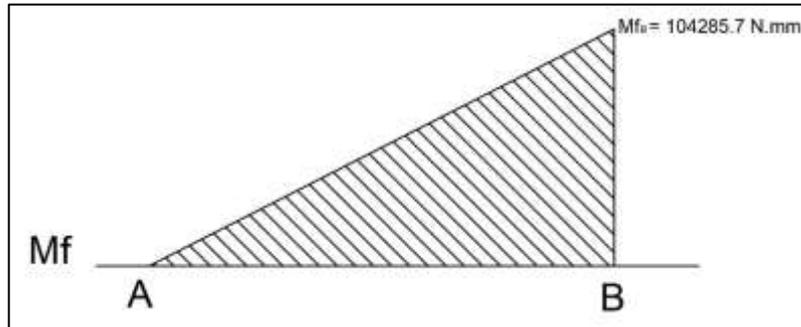
Aplicamos condiciones de equilibrio:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y + (-F_{cy}) = 0$$

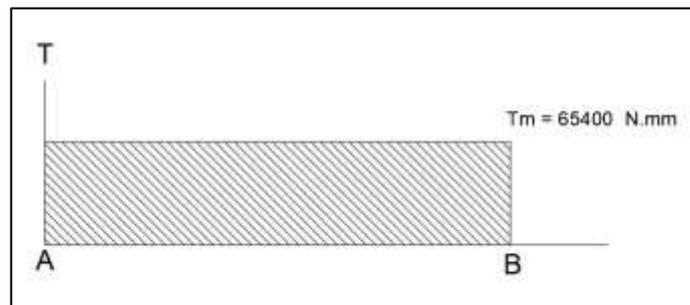
$$R_y = F_{cy} = 1614,33 [N]$$

Se realiza los diagramas de momentos flectores y torsores para después graficarlos en el software AutoCAD y con esos valores proceder a calcular el diámetro como se muestra a continuación en la **Ilustración 3-22.**



**Ilustración 3-22:** Diagrama de momento flector plano x-y

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.



**Ilustración 3-23:** Diagrama Torsor

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

A continuación, se presentarán los valores de torque torsor y momento flector en el punto crítico B.

$$M_{fB} = 104285,72 \text{ [Nmm]}$$

$$T_m = 65400 \text{ [Nmm]}$$

Para calcular el diámetro del eje en el punto crítico, se utilizará la **Ecuación 2-12.**

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{K_f M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_a}{S_e} \right)^2 + 4 \left( \frac{K_f M_m}{S_y} \right)^2 + 3 \left( \frac{K_{fs} T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

Los valores para un acero AISI 1018 son  $S_{ut} = 400 \text{ MPa}$  ,  $S_y = 220 \text{ MPa}$  y con estos valores se procederá a realizar los siguientes cálculos.

En base a la **Ecuación 2-8** tenemos:

$$\begin{aligned}
 S'e &= 0.5S_{ut} \\
 S'e &= 0.5 * 400 = 200 \text{ [MPa]} \\
 k &= k_a * k_b * k_c * k_d * k_g = 0,6 \\
 S_e &= k * S'e \\
 S_e &= 0,6 * 200 = 120 \text{ [MPa]}
 \end{aligned}$$

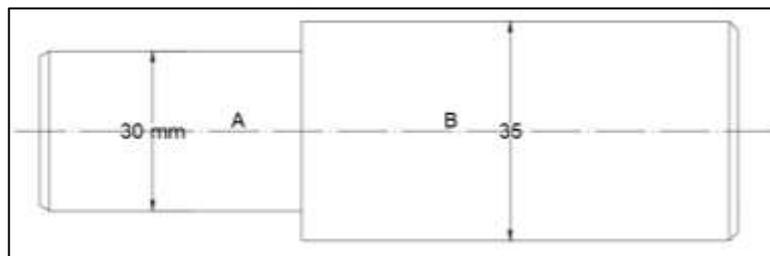
Para los valores de concentradores de esfuerzo y sensibilidad a la muesca los valores recomendados son:

$$\begin{aligned}
 K_f &= 1,6 \\
 K_{f_s} &= 1,4
 \end{aligned}$$

El coeficiente de seguridad que empelamos es de 1,5 debido a que cumple con el lado de la seguridad y una vida infinita.

$$\begin{aligned}
 d_B &= \left\{ \frac{16(1,5)}{\pi} \left[ 4 \left( \frac{(1,6)(104285,72)}{120} \right)^2 + 3 \left( \frac{(1,4)(65400)}{(220)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \\
 d_B &= 27,99 \text{ [mm]} \\
 d_B &\approx 30 \text{ [mm]}
 \end{aligned}$$

Una vez obtenido el diámetro en nuestro punto crítico, el cual tiene un valor de 27,99 mm, y se le aproxima al inmediato entero superior, se procederá a realizar el escalonamiento para el resto del tramo del eje, como se muestra en la **Ilustración 3-24**.



**Ilustración 3-24:** Eje dimensionado

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

### 3.6.7. Cálculos de diseño de chavetas

Para el estudio de cuñas se necesita encontrar el factor de seguridad tanto para corte y compresión. Del análisis de ejes se obtiene el torque máximo  $\tau_{\max} = 65.4 \text{ N}\cdot\text{m}$  y el diámetro de 30 mm con el cual se trabaja tanto para corte y compresión.

#### 3.6.7.1. Diseño a corte

- Cuña 1

Para comenzar con el diseño se presentan valores dispuestos por la norma DIN 6885-A.

h	2	3	4	5	6	8	10
6	6	8	10	12	14	16	18
8	8	10	12	14	16	18	20
10	10	12	14	16	18	20	22
12	12	14	16	18	20	22	24
14	14	16	18	20	22	24	26
16	16	18	20	22	24	26	28
18	18	20	22	24	26	28	30
20	20	22	24	26	28	30	32
22	22	24	26	28	30	32	34
24	24	26	28	30	32	34	36
26	26	28	30	32	34	36	38
28	28	30	32	34	36	38	40
30	30	32	34	36	38	40	42
32	32	34	36	38	40	42	44
34	34	36	38	40	42	44	46
36	36	38	40	42	44	46	48
38	38	40	42	44	46	48	50
40	40	42	44	46	48	50	52
42	42	44	46	48	50	52	54
44	44	46	48	50	52	54	56
46	46	48	50	52	54	56	58
48	48	50	52	54	56	58	60

**Ilustración 3-25:** Estandarización de chavetas según DIN 6885-A.

Fuente:(OPAC, 2016)

Donde tenemos que:

b: 8 mm

h: 7mm

l: 56 mm

$$\tau_{diseño} = \frac{2 * T}{d * b * l}$$

$$\tau_{diseño} = \frac{2 * 65.4}{0.03 * 0.008 * 0.056}$$

$$\tau_{diseño} = 9732142.857 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$\tau_{diseño} = 9.732 [MPa]$$

Considerando que el material es AISI 1018 con un límite de fluencia de 220 MPa y su límite de fluencia a corte es de 110 MPa, se utiliza la **Ecuación 2-26** para determinar el factor de seguridad.

$$\tau_{diseño} = \frac{Ssy}{n}$$

$$9.732 = \frac{110}{n}$$

$$n = 11.3$$

- Cuña 2

Para el diseño de la segunda cuña se toman medidas de la norma DIM 6885-A. Donde tenemos que:

b: 8 mm

h: 7mm

l: 40 mm

$$\tau_{diseño} = \frac{2 * T}{d * b * l}$$

$$\tau_{diseño} = \frac{2 * 65.4}{0.03 * 0.008 * 0.04}$$

$$\tau_{diseño} = 13625000 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$\tau_{diseño} = 13.63 [MPa]$$

Considerando que el material es AISI 1018 con un límite de fluencia de 220 MPa y su límite de fluencia a corte es de 110 MPa, se utiliza la **Ecuación 2-26** para determinar el factor de seguridad.

$$\tau_{diseño} = \frac{Ssy}{n}$$

$$13.63 = \frac{110}{n}$$

$$n = 8.07$$

### 3.6.7.2. Diseño a compresión

Se toman ya las medidas anteriormente predispuestas en el diseño a corte.

- Cuña 1

Para el diseño a compresión de la cuña 1 se consideran las siguientes medidas:

b: 8 mm

h: 7mm

l: 56 mm

Dada la ecuación 27:

$$\sigma = \frac{4 * T}{d * l * h}$$
$$\sigma = \frac{4 * 65.4}{0.03 * 0.058 * 0.007}$$

$$\sigma = 22.24 [MPa]$$

Una vez obtenido el esfuerzo a compresión se utiliza la **Ecuación 2-28**, para determinar el coeficiente de seguridad.

$$\sigma = \frac{Sy}{n}$$
$$22.24 = \frac{220}{n}$$
$$n = 9.89$$

- Cuña 2

Para el diseño a compresión de la cuña 2 se consideran las siguientes medidas:

b: 8 mm

h: 7mm

l: 40 mm

Dada la Ecuación 29:

$$\sigma = \frac{4 * T}{d * l * h}$$
$$\sigma = \frac{4 * 65.4}{0.03 * 0.04 * 0.007}$$
$$\sigma = 31.14 [MPa]$$

Una vez obtenido el esfuerzo a compresión se utiliza la **Ecuación 2-28**, para determinar el coeficiente de seguridad.

$$\sigma = \frac{Sy}{n}$$

$$31.14 = \frac{220}{n}$$

$$n = 7.06$$

Las medidas de las cuñas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 3-15:** Medidas de cuñas

Medidas [mm]	Cuña 1	Cuña 2
b	8	8
h	7	7
l	56	40

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

Cuña 1: DIN 6885 A 8x7x56

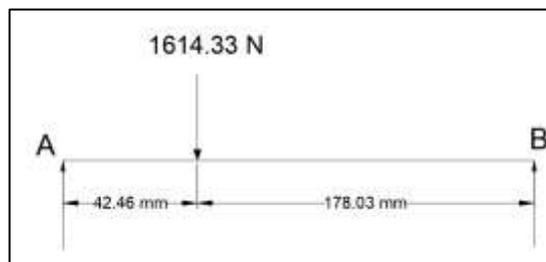
Cuña 2: DIN 6885 A 8x7x40

### 3.6.8. Selección de rodamientos

#### 3.6.8.1. Selección del rodamiento con la reacción mayor

Para la selección de los rodamientos primero se obtiene la máxima reacción que van a soportar los rodamientos, considerando la fuerza obtenida del análisis del dimensionamiento del eje en donde se obtuvo una fuerza de 1614.33 N la cual va a producir reacciones radiales sobre los rodamientos.

Considerando los puntos A y B las ubicaciones de nuestros rodamientos, se procede a hallar las reacciones, teniendo:



**Ilustración 3-26:** Diagrama de fuerzas del eje de catalina

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

Aplicamos sumatoria de momentos en A:

$$\sum M_A = 0$$

$$1614.33(42.46) - B_y(220.49) = 0$$

$$B_y = 310.87 \text{ [N]}$$

Para la obtención de la reacción en A se realiza una sumatoria de fuerzas en Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + B_y - 1614.33 = 0$$

$$A_y = 1614.33 - B_y$$

$$A_y = 1614.33 - 310.87$$

$$A_y = 1303.4567 \text{ [N]}$$

Una vez que se ha realizado análisis de fuerzas del eje se observa que la reacción mayor es de 1303.4567 [N]. Además, del dimensionamiento del eje se obtiene un diámetro de 20 mm con lo cual debemos considerar esa medida para el diámetro interno de nuestro rodamiento.

### 3.6.8.2. Vida Nominal

De la **Ilustración 3-27** se determina la Vida nominal de nuestra máquina considerando que su trabajo está regido por movimientos realizados por motores eléctricos y reductores de fuerza.

Machine Type and Employment	$L_{10}$ , hr	$L_{10}$ , mln, km
Devices and mechanisms used at regular intervals, agricultural machines, household appliances	500-4000	-
Machanisms used for a short periods of time, erecting cranes, building machines	4000-8000	
Critical mechanisms used intermittently (accessory mechanisms at power plant stations, conveyors for series production, elevators, metal-cutting machine tools used from time to time)	8000-12000	
One-shift operated machines, underloaded (stationery electric moters, reduction gears, crushers (mills))	12000-20000	
One-shift operated machines, under full load (metal-cutting machine-tools, wood-cutting machines), general-type machine-tools used in machine-building, lifting cranes, ventilators, separators, centrifuges, polygraph equipment.	20000-30000	
Machines to be used on a round-the-clock basis (compressors, pumps, mine lifters, stationery electric moters, equipment used in textile industry)	40000-50000	
Hydropower stations, rotary funaces, deep-sea vessels engines	60000-100000	
Continuous-operation heavy-duty machines (paper working equipment, power plants, mine pumps,	100000	

**Ilustración 3-27:** Valores nominales para diferentes tipos de máquinas

Fuente: (FBJ, 2015)

Dándonos un valor de vida nominal dentro del siguiente intervalo.

$$L_{10} = [12000 - 20000]$$

### 3.6.8.3. Confiabilidad

Una vez hallada la Vida nominal se determina el factor de confiabilidad que tendrá nuestro rodamiento.

Reliability, percent	$L_{10}$	$a_1$
90	$L_{10}$	1
95	$L_{50}$	0.62
96	$L_{40}$	0.53
97	$L_{30}$	0.44
98	$L_{20}$	0.33
99	$L_{10}$	0.21

**Ilustración 3-28:** Valores del factor de confiabilidad

Fuente: (FBJ, 2015)

Se considera una confiabilidad del 90% del rodamiento.

#### 3.6.8.4. Factor de vida

Para el factor de vida se tiene la **Ecuación 2-14** en donde:

$$L_{10} = 12000$$

$$f_h = \left( \frac{L_{10}}{500} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$f_h = \left( \frac{12000}{500} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$f_h = 2.88$$

#### 3.6.8.5. Factor de velocidad

La velocidad encontrada empíricamente de 8 rpm se considera en este apartado para el cálculo del factor de velocidad considerando la **Ecuación 2-16** para rodamientos rígidos de bolas ya que el rodamiento estará sometido solamente a una fuerza radial.

$$f_n = \left( \frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$f_n = \left( \frac{33,3}{8} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$f_n = 1.61$$

#### 3.6.8.6. Capacidad requerida

Obtenido los factores de vida y de velocidad más la carga radial que soportará nuestro rodamiento se calcula la carga requerida con la **Ecuación 2-13**.

$$C' = \frac{f_h}{f_n} * P$$
$$C' = \frac{2.88}{1.61} * 1303.4567 [N]$$
$$C' = 2331.65 [N]$$

Con la carga requerida observamos en nuestro catálogo que el rodamiento que nos brinda el rango de capacidad requerida y con un diámetro de eje de 20 mm es el Ball Bearing 6004\*.

Bearing Number	Dimensions (mm)			Basic Load Ratings (N)		Limiting Speeds (rev/min)		Weight kg
	Bore d	OD D	Width t	$C_r$	$C_{or}$	Grease	Oil	
6000*	10	26	8	4620	1960	30000	36000	0.019
6001*	12	28	8	5070	2360	26000	32000	0.022
6002*	15	32	9	5590	2850	22000	28000	0.030
6003*	17	35	10	6050	3250	19000	24000	0.039
6004*	20	42	12	9360	5000	17000	20000	0.069
6005*	25	47	12	11200	6550	15000	18000	0.080

**Ilustración 3-29:** Deep Groove Ball Bearing

Fuente: (FBJ, 2007)

**3.6.9. Selección cadenas y catalinas**

De la potencia que encontramos de la selección del motorreductor de 0.2 Hp se procede a realizar los pasos establecidos por el catálogo de REXNORD.

**3.6.9.1. Potencia de diseño**

La potencia de diseño se calcula mediante la potencia proporcionada por el motorreductor y el factor de servicio.

Para el factor de servicio se considera una carga moderada no reversible.

Driven equipment	Service factors	
	Input power	
	Internal combustion engine with hydraulic drive	Electric motor or turbine
Agitators, liquid stock	1.0	1.0
Beaters	1.2	1.3
Blowers, centrifugal	1.0	1.0
Boat propellers	1.4	1.5
Compressors		
centrifugal	1.2	1.3
reciprocating, 3 or more cylinders	1.2	1.3
reciprocating, singular, 2 cylinders	1.4	1.5
Conveyors		
uniformly loaded or fed	1.0	1.0
not uniformly loaded or fed	1.2	1.3
reciprocating	1.4	1.5
Cookers, cereal	1.0	1.0
Crushers	1.4	1.5
Elevators, bucket		
uniformly loaded or fed	1.0	1.0
not uniformly loaded or fed	1.2	1.3
Fans, centrifugal	1.0	1.0
Feeders		
rotary table	1.0	1.0
apron, belt, screw, rotary vane	1.2	1.3
reciprocating	1.4	1.5
Generators	1.0	1.0
Grinders	1.2	1.3
Hoists	1.2	1.3
Kettles, brew	1.0	1.0
Kilns and dryers, rotary	1.2	1.3
Lineshafts		
light or normal service	1.0	1.0
heavy service	1.2	1.3
Machinery		
uniform load, nonreversing	1.0	1.0
moderate pulsating load, nonreversing	1.2	1.3

**Ilustración 3-30:** Factor de servicio

**Fuente:** (REXNORD, 2015)

Donde:

**P:** 0.2 [Hp]

**C<sub>7</sub>:** 1.3

$$P_d = P * C_7$$

$$P_d = 0.2 * 1.3$$

$$P_d = 0.26 \text{ [Hp]}$$

La potencia de diseño es de 0.26 [Hp] con lo cual se determina ahora el número de cadena.

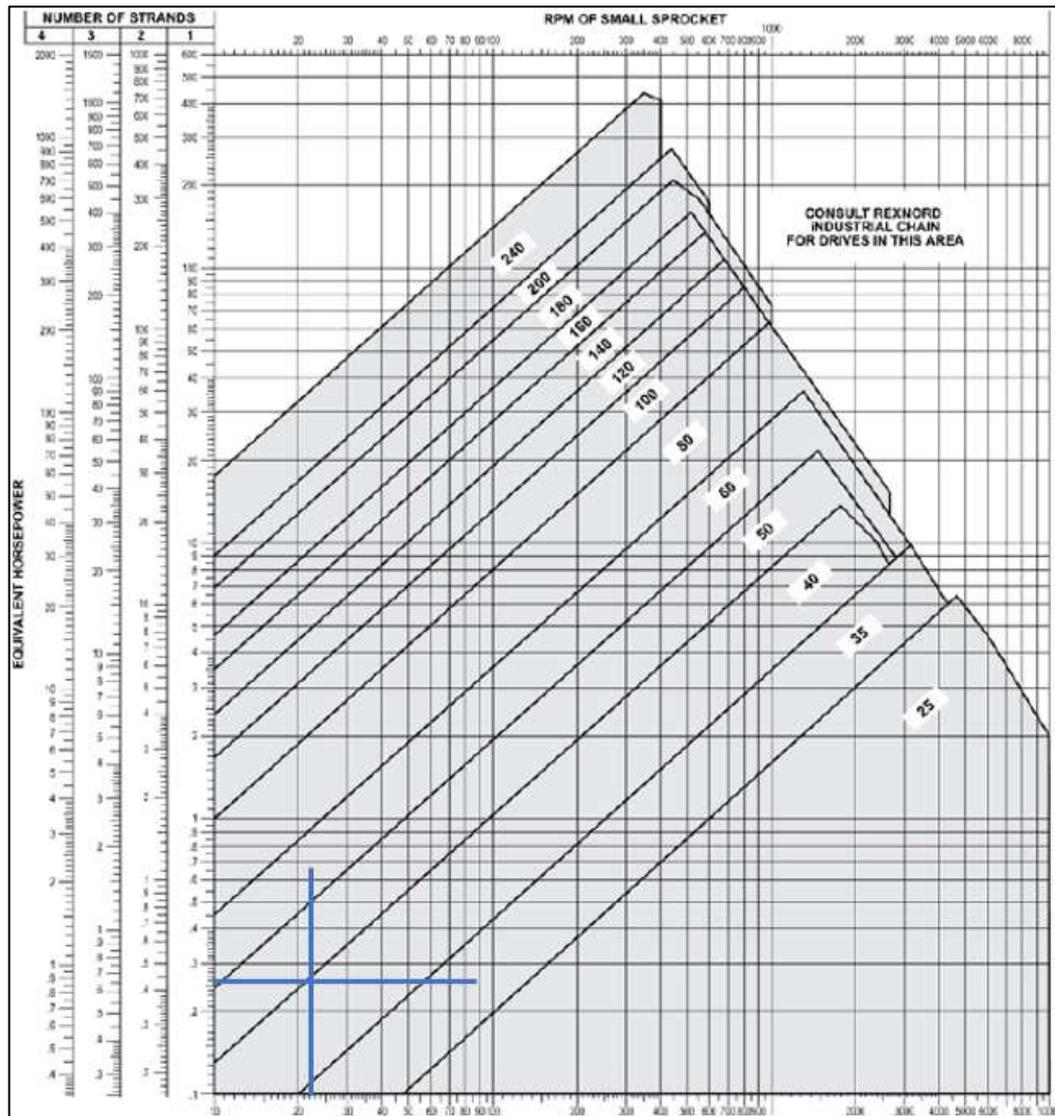
### 3.6.9.2. Número de la cadena

Con la potencia de diseño anteriormente que se calculó y el número de revoluciones por minuto del piñón más rápido se obtiene el número de cadena de la **Ilustración 3-31**.

Donde:

**n<sub>1</sub>:** 21.9 [rpm]

**P<sub>a</sub>:** 0.26[Hp]



**Ilustración 3-31:** Selección de número de cadenas de rodillos

**Fuente:** (REXNORD, 2015)

Con la intersección de la potencia y el número de revoluciones por minuto de la catalina menor vemos que la cadena que necesitamos es una cadena N° 40 de una hilera con un paso de 0.5 [in].

### 3.6.9.3. Cálculo de la relación de transmisión

Considerando que la velocidad final esperada se encuentra entre el intervalo de [7-10] rpm se considera para la selección una rapidez final de 8 rpm por lo que tendríamos de la **Ecuación 2-19** la siguiente relación de transmisión.

Donde:

$N_1$ : 21.9 [rpm]

$N_2$ : 8 [rpm]

$$i = \frac{N_1}{N_2}$$

$$i = \frac{21.9}{8}$$

$$i = 2.74$$

#### 3.6.9.4. Número de dientes de la catalina menor en base a la potencia

Para saber cuál va a ser la cantidad de dientes de la catalina menor se tiene que tomar en cuenta el parámetro del diámetro considerado en el diseño del eje del motorreductor que se consideró de 40 mm de radio con lo cual en el catálogo REXNORD obtenemos que la catalina menor debe tener 20 dientes ya que cuenta con el diameter pitch de 3.196 [in] equivalente a 80 mm de diámetro.

$$Z_1 = 20$$

Number of teeth	Pitch diameter, inches	Root diameter, inches	Outside diameter, inches Δ	Maximum hub and groove diameter, inches	Maximum bore with standard keyseat, inches ▲	s max., inches
8	1.307	.995	1.507	.67	.375	.188
9	1.462	1.150	1.674	.84	.500	.313
10	1.618	1.306	1.839	1.00	.625	.406
11	1.775	1.463	2.003	1.17	.750	.469
12	1.932	1.620	2.166	1.33	.844	.516
13	2.089	1.777	2.329	1.50	1.000	.625
14	2.247	1.935	2.491	1.66	1.188	.719
15	2.405	2.093	2.653	1.81	1.250	.750
16	2.563	2.251	2.814	1.98	1.375	.844
17	2.721	2.409	2.975	2.14	1.500	.938
18	2.879	2.567	3.136	2.30	1.625	1.000
19	3.038	2.726	3.297	2.45	1.750	1.063
20	3.196	2.884	3.457	2.63	1.875	1.188
21	3.355	3.043	3.618	2.78	2.063	1.281
22	3.513	3.201	3.778	2.94	2.188	1.344
23	3.672	3.360	3.938	3.09	2.250	1.375
24	3.831	3.519	4.098	3.27	2.250	1.406

**Ilustración 3-32:** dimensiones de catalinas N° 40 de paso 0.5 [in]

Fuente: (REXNORD, 2015)

Una vez seleccionado el número de dientes del piñón menor se verifica que soporte la potencia de diseño, de la tabla de Ratings de la cadena N° 40 y paso 0.5 [in] del catálogo se obtiene que la catalina de 20 dientes puede soportar una potencia de 0.44 Hp satisfaciendo nuestra demanda y además verificando que el agujero máximo de eje que se le puede realizar es de 1.875[in] equivalente a 47 [mm]. Conociendo, además, que su lubricación debe realizarse manualmente o por goteo.

Ratings							
Number of teeth, in small sprocket	Maximum bore inches						
		50	100	200	300	400	500
11	.750	0.23	0.43	0.80	1.16	1.50	1.83
12	.844	0.25	0.47	0.88	1.27	1.65	2.01
13	1.000	0.28	0.52	0.96	1.39	1.80	2.20
14	1.188	0.30	0.56	1.04	1.50	1.95	2.38
15	1.250	0.32	0.60	1.12	1.62	2.10	2.56
16	1.375	0.35	0.65	1.20	1.74	2.25	2.75
17	1.500	0.37	0.69	1.29	1.85	2.40	2.93
18	1.625	0.39	0.73	1.37	1.97	2.55	3.12
19	1.750	0.42	0.78	1.45	2.09	2.71	3.31
20	1.875	0.44	0.82	1.53	2.21	2.86	3.50
21	2.063	0.46	0.87	1.62	2.33	3.02	3.69
22	2.188	0.49	0.91	1.70	2.45	3.17	3.88
23	2.250	0.51	0.96	1.78	2.57	3.33	4.07
24	2.250	0.54	1.00	1.87	2.69	3.48	4.26
25	2.281	0.56	1.05	1.95	2.81	3.64	4.45
28	2.625	0.63	1.18	2.20	3.18	4.11	5.03
30	2.750	0.68	1.27	2.38	3.42	4.43	5.42
32	3.000	0.73	1.36	2.55	3.67	4.75	5.81
35	3.563	0.81	1.50	2.81	4.04	5.24	6.40
40	3.781	0.93	1.74	3.24	4.67	6.05	7.39
Lubrication type ■		A			B		

**Ilustración 3-33:** Especificaciones y dimensiones de catalinas para una cadena N°40

Fuente: (REXNORD, 2015)

3.6.9.5. *Cálculo de números de dientes de la catalina mayor*

Para saber la cantidad de dientes de la catalina mayor se debe multiplicar la relación de transmisión por el número de dientes de la catalina menor.

Donde:

$Z_1$ : 20

$i$ : 2.74

$$Z_2 = Z_1 * i$$

$$Z_2 = 20 * 2.74$$

$$Z_2 = 54.8$$

Como el valor es un decimal se procede a escoger el inmediato superior por lo que se tiene que:

$$Z_2 = 56$$

### 3.6.9.6. Distancia entre centros

Para saber la distancia mínima entre centros que debe de tener nuestro sistema de transmisión hacemos uso de la **Ecuación 2-21** :

$$e = D + 0.5 * d$$

Considerando la siguiente ecuación para determinar D.

$$G = \frac{Z_2 * P}{\pi}$$

Donde:

**G:** Diámetro catalina mayor

**Z<sub>2</sub>:** Numero de dientes de catalina mayor

**P:** Paso

$$G = \frac{Z_2 * P}{\pi}$$

$$G = \frac{56 * 0.5}{\pi}$$

$$G = 8.91 [in]$$

Y para d tenemos:

$$g = \frac{Z_1 * P}{\pi}$$

**g:** Diámetro catalina menor

**Z<sub>1</sub>:** Numero de dientes de catalina menor

**P:** Paso

$$g = \frac{Z_1 * P}{\pi}$$

$$g = \frac{20 * 0.5}{\pi}$$

$$g = 3.18$$

Una vez obtenido los valores de los diámetros se procede a obtener la distancia mínima entre centros.

$$e = D + 0.5 * d$$

Donde:

$$D = 8.91$$

$$d = 3.18$$

$$e = D + 0.5 * d$$

$$e = 8.91 + 0.5 * 3.18$$

$$e = 10.5 \text{ [in]}$$

Al considerar una distancia de 17.14 [in] en el diseño DAC se considera esta distancia como aceptable dentro de nuestra aplicación.

Para la longitud de la cadena utilizamos la **Ecuación 2-22** donde contemplamos los diámetros de los piñones obtenidos anteriormente y la distancia entre centros obtenida del diseño CAD.

$$A = \frac{G - g}{2 * e}$$

$$A = \frac{8.91 - 3.18}{2 * 17.14}$$

$$A = 0,1672$$

Una vez obtenido el factor A se interpola dentro de la Tabla 4 del catálogo con el factor A, obteniendo:

A	B	C	D
.16505	1.9726	.4472	.5528
.16935	1.9711	.4458	.5542
.17365	1.9696	.4444	.5556
.17794	1.9681	.4431	.5569
.18224	1.9665	.4417	.5583

**Ilustración 3-34:** Valores para el centro entre piñones y longitud de cadena

Fuente: (REXNORD, 2015)

**B:** 1.97185

**C:** 0.4465

**D:** 0.5535

Al determinar los factores B, C, D podemos reemplazar en la **Ecuación 2-23** en donde se determina el número de eslabones que se necesita para la cadena.

$$N = \frac{B * e}{P} + C * Z + C * T$$

$$N = \frac{1.97185 * 17.14}{0.5} + 0.4465 * 20 + 0.5535 * 56$$

$$N = 107.52$$

El número de eslabones es de 107.52 por lo que se le redondea al inmediato superior dándonos 108 eslabones.

Como se aumentó al inmediato superior el número de eslabones se necesita realizar una corrección de la distancia entre centros en la **Ecuación 2-24**.

$$E = \frac{(N - C * Z - D * T) * e}{B}$$

$$E = \frac{(108 - 0.4465 * 20 - 0.5535 * 56) * 17.14}{1.97185}$$

$$E = 17.26$$

Se tiene ahora que la distancia entre centros necesita aumentar a 17.26 [in]

### **3.6.10. Construcción de la estructura de la máquina**

Para el modelado y diseño de la estructura se toma en cuenta la disposición de cada elemento ya predispuesto en el diseño CAD. Además de los componentes y distancias que ya se ha determinado tanto en el diseño de ejes y distancia entre los mismos. La estructura principal está realizada por acero estructural ASTM A36.



**Ilustración 3-35:** Estructura de la máquina dobladora

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024.

Dado que la estructura debe soportar cargas considerables de los componentes, se considera seccionar un acero estructural ASTM A36 del catálogo de DIPAC.

Dimensiones			Área
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>
20	1.2	0.72	0.90
20	1.5	0.88	1.05
20	2.0	1.15	1.34
25	1.2	0.90	1.14
25	1.5	1.12	1.35
25	2.0	1.47	1.74
30	1.2	1.09	1.38
30	1.5	1.35	1.65
30	2.0	1.78	2.14
40	1.2	1.47	1.80
40	1.5	1.82	2.25
40	2.0	2.41	2.94
40	3.0	3.54	4.44
50	1.5	2.29	2.85
50	2.0	3.03	3.74

**Ilustración 3-36:** Dimensiones de perfil rectangular ASTM A36

Fuente:(DIPAC, 2022)

Se escoge un perfil cuadrado 50X50X2 mm para la construcción de la estructura la cual se determinará su resistencia posteriormente.

### 3.6.10.1. Cargas estructurales para soportar

En la siguiente tabla se detalla las cargas que soportará la estructura, en la cual se describe su peso y el material del cual están compuesto.

**Tabla 3-16:** Pesos de componentes de dobladora de platinas

Elemento	Material	Cantidad	Peso [Kg]
Estructura	Acero A36	1	103,25
Caja control	Acero A36	1	1,65
Base Principal	Acero A36	1	12,83

Soporte C	Acero A36	2	1,04
Guía	Acero A36	2	0,87
Base Paso a paso	Acero A36	1	0,48
Motor paso a paso	Aluminio 1060	1	0,22
Cilindro Pinza	Aluminio 1060	1	0,11
Cilindro Mecanismo	Aluminio 1060	1	0,42
Pinza	Acero A36	2	0,30
Palanca	Acero A36	1	6,54
Muela Palanca	Acero A36	1	0,66
Muela Fija	Acero A36	1	0,28
Mecanismo de sujeción	Acero A36	1	1,37
Eje Palanca	Acero A36	1	0,75
Refuerzo Base	Acero A36	1	8,50
Catalina	Acero A36	1	2,46
Piñón menor	Acero A36	1	0,78
Cadena	Acero A36	1	1,10
Eje Motorreductor	Acero A36	1	0,85
Brida para pinza	Acero A36	1	0,56
Tablero de control	-	1	6,00
Motor y motorreductor	Acero A36	1	12,00
Total:			163,015

Fuente: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.11. Mecanizado de elementos

Para el mecanizado de los elementos de la doblarla de llevan a cabo mediante dos tipos de maquinaria, un torno convencional y una CNC.

#### 3.6.11.1. Torno convencional

Con el uso de un torno convencional se mecaniza los dos ejes que se necesita para el sistema de transmisión considerando un eje de acero estructural ASTM A36 de diámetro 32mm del catálogo DIPAC.



**Ilustración 3-37:** CAD de ejes a mecanizar

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

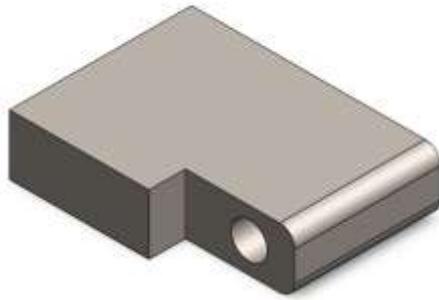
**Tabla 3-17:** Procesos de mecanizado en torno

Fase	Subfase	Designación	Croquis
Torno	1	Refrentado	
Torno	2	Desbaste considerando un milímetro de sobre material	
Torno	3	Cilindrar las medidas de cada eje.	
Torno	4	Chaflan en cada extremo de los ejes	

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.11.2. CNC

Las piezas mecanizadas mediante CNC presentan una geometría especial lo cual genera una complejidad significativa para realizarlas mediante técnicas convencionales. La CNC brinda herramientas y procesos para poder obtener los Mueles de la dobladora de platinas.



**Ilustración 3-38:** Muela de palanca.

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

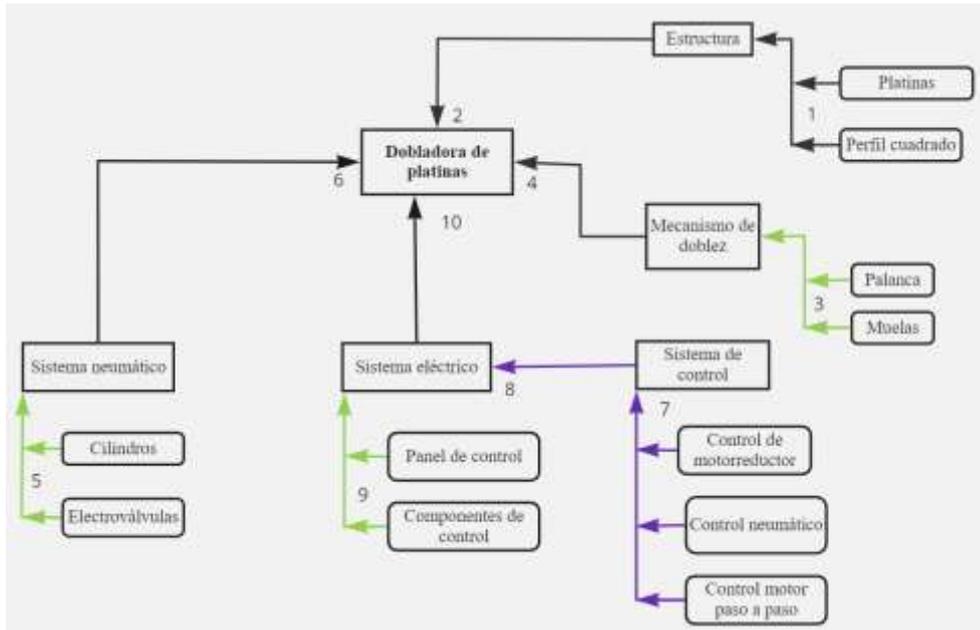


**Ilustración 3-39:** Muela de sujeción

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### ***3.6.12. Ensamblaje de la máquina dobladora de platinas***

Para el ensamblaje de la dobladora de platinas se considera la unión sistemática de todos los elementos ya hayan sido diseñados o seleccionados de un catálogo. En este proceso se deben de seguir las estipulaciones de los planos y medidas establecidas previamente en el diseño de la máquina.



**Ilustración 3-40:** Diagrama de ensamblaje de dobladora de platina

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

Donde:

- Dirección de ensamblaje principal
- Dirección de ensamblaje secundario
- Dirección de ensamblaje de control



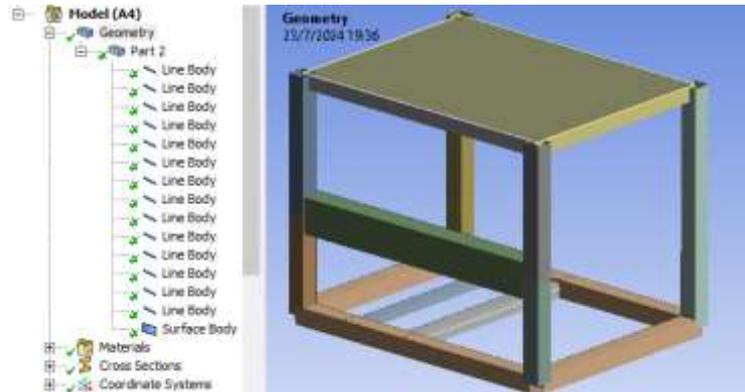
**Ilustración 3-41:** Ensamblaje final de la dobladora de platina

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.13. Análisis CAE de la estructura

#### 3.6.13.1. Step

En este caso se realizó el modelado directo en Desing Modeler

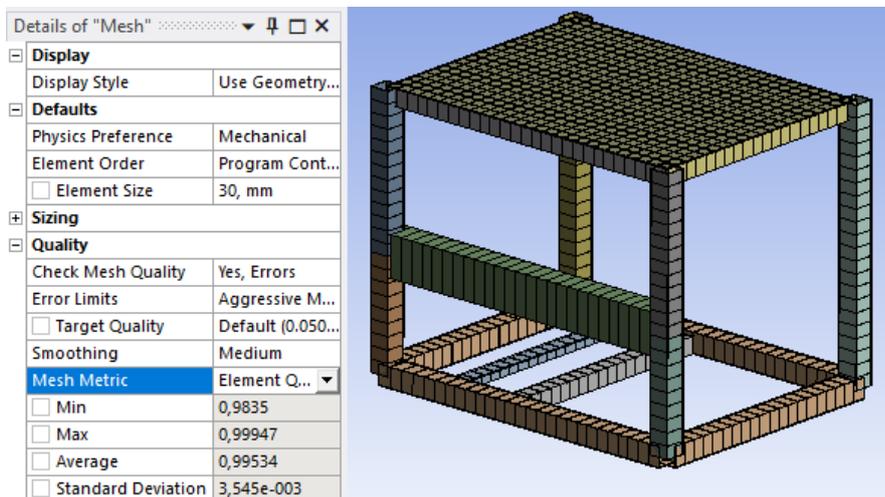


**Ilustración 3-42:** Diseño de estructura en Ansys

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 3.6.13.2. Mallado

Aquí se dio un parámetro de dimensión del mallado para obtener una calidad aceptable.



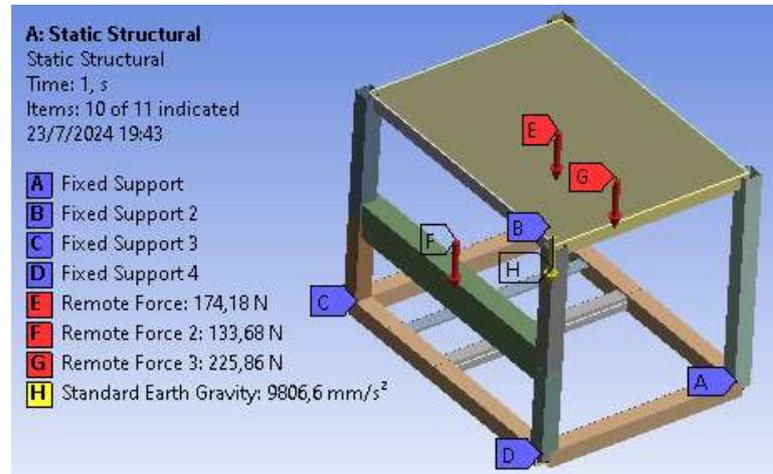
**Ilustración 3-43:** Calidad de malla de estructura

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.13.3. Material

En este caso se ingresa las propiedades del material de la estructura que es el ASTM A36.

### 3.6.13.4. Condiciones de contorno y cargas aplicadas



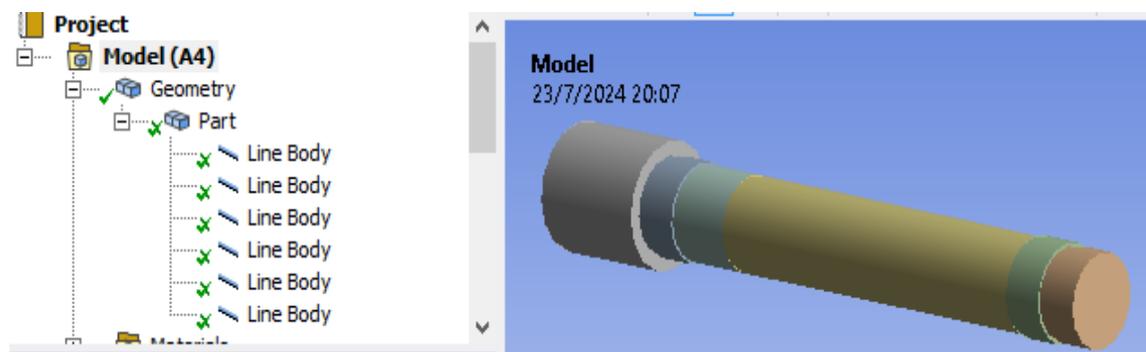
**Ilustración 3-44:** Condiciones de contorno y cargas de la estructura

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.14. Análisis CAE del eje interno de la palanca de doblez

#### 3.6.14.1. Step

Eje definido como elemento beam en Desing Modeler e importado como la geometría a analizar en ANSYS.

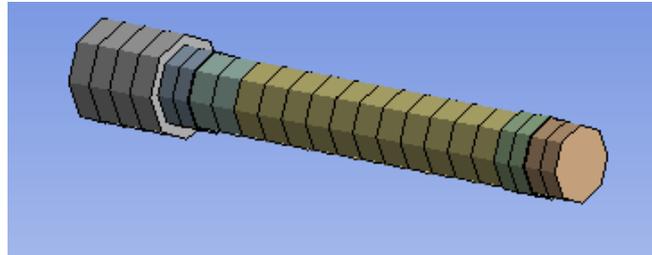


**Ilustración 3-45:** Diseño de eje de palanca de doblez en Desing Modeler

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.14.2. Mallado

Al ser un elemento beam la malla no interfiere en gran magnitud en los resultados es por ellos que se da el mallado por defecto.



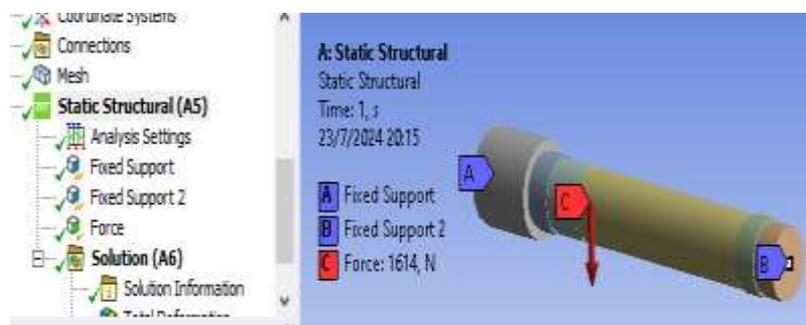
**Ilustración 3-46:** Mallado de eje de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.14.3. Material

Aquí se ingresó las propiedades del material de la barra lisa comercial ASTM A36

### 3.6.14.4. Condiciones de contorno y cargas aplicadas en el eje



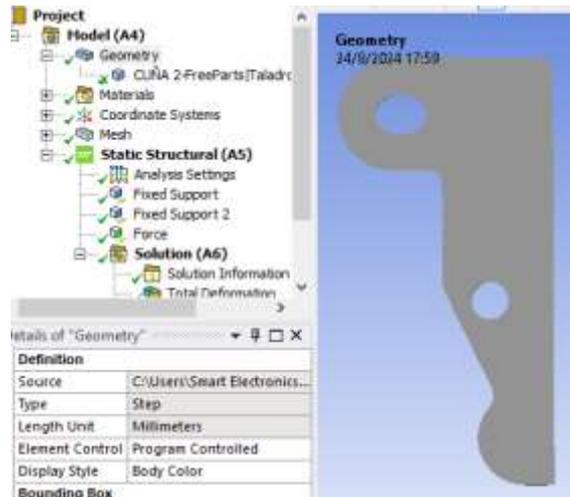
**Ilustración 3-47:** Condiciones de contorno y cargas aplicadas en eje de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

## 3.6.15. Análisis CAE de la pieza de sujeción

### 3.6.15.1. Step

Se importa el modelo en archivo step generado en el modelado de la máquina dobladora de platinas

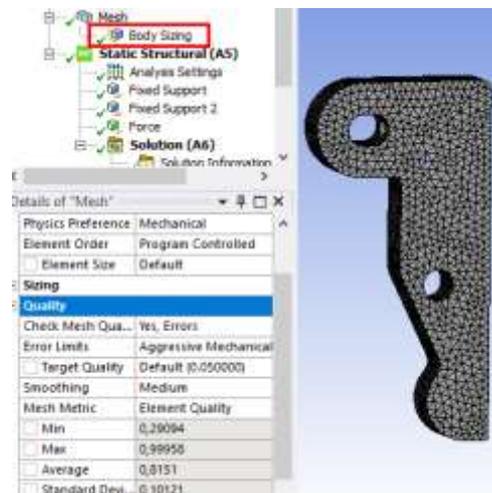


**Ilustración 3-48:** Step pieza de sujeción

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.15.2. Mallado

Para obtener una calidad de mallado aceptable para el análisis, se optó por agregar al mallado por defecto un método llamado body sizing el cual permite reducir las dimensiones de la malla.



**Ilustración 3-49:** Mallado de la pieza de sujeción

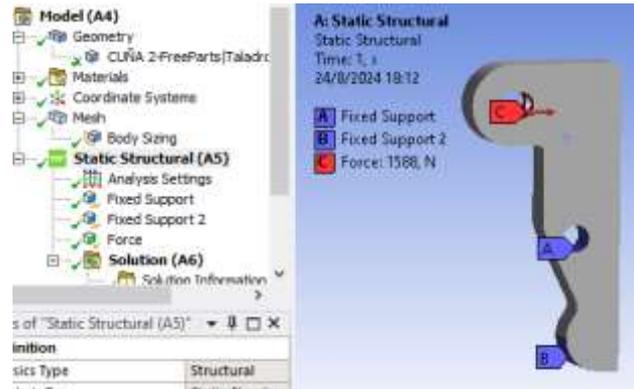
Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.15.3. Material

En este caso se ingresa las propiedades del material de la pieza de sujeción que es el ASTM A36

### 3.6.15.4. Condiciones de contorno y cargas aplicadas

Dentro de las condiciones de contorno agregamos los fixed support en los puntos que quedarán soportando la fuerza que será aplicada para la sujeción, la fuerza que se ha colocado es el doble de la necesaria para doblar la platina con un valor de 1588 [N] esta duplicación se debe a que posteriormente se puede agregar para modificaciones para mayores espesores si el cliente lo desea, y también brinda seguridad para el correcto funcionamiento de la máquina.



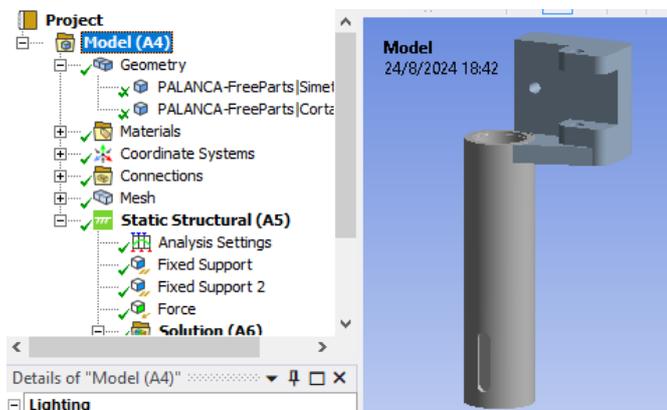
**Ilustración 3-50:** Condiciones de contorno y cargas aplicadas a la pieza de sujeción

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.16. Análisis CAE de la palanca de dobléz

#### 3.6.16.1. Step

Se importa el modelo en archivo step generado en el modelado de la máquina dobladora de platinas.

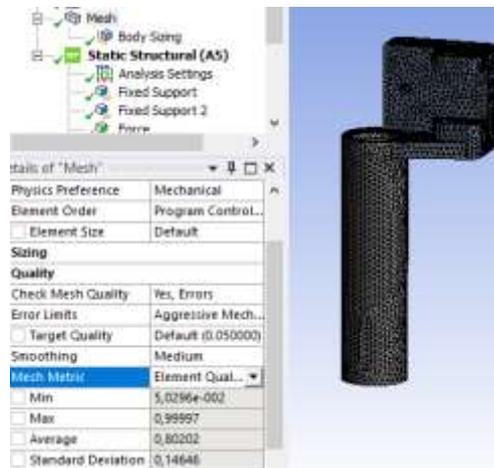


**Ilustración 3-51:** Step pieza de sujeción

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.16.2. Mallado

Para obtener una calidad de mallado aceptable para el análisis, se optó por agregar al mallado por defecto un método llamado body sizing el cual permite reducir las dimensiones de la malla.



**Ilustración 3-52:** Mallado de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.16.3. Material

En este caso se ingresa las propiedades del material de la pieza de sujeción que es el ASTM A36

### 3.6.16.4. Condiciones de contorno y cargas aplicadas

Se agrego las condiciones de empotramiento y una carga de 1588 [N] en la dirección que va ha soportar la fuerza máxima de plegado de la platina



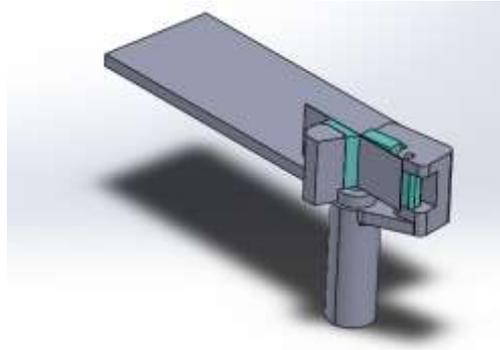
**Ilustración 3-53:** Condiciones de contorno y cargas aplicadas en la palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.17. Simulación del doblé de la platina en ANSYS LS-DYNA

#### 3.6.17.1. Step

Al ser un ensamble es necesario exportar desde SOLID WORKS el archivo Step.

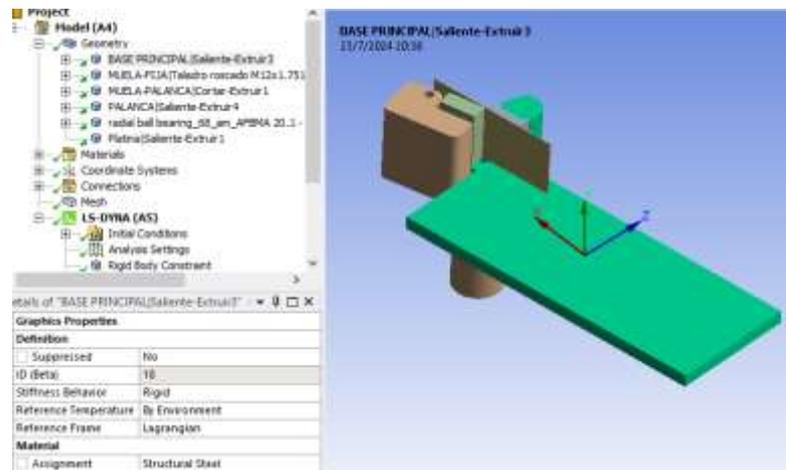


**Ilustración 3-54:** Step de mecanismo de doblé

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 3.6.17.2. Material

Aquí se ingresa los materiales de las muelas y palancas que es el acero ASTM A36 y para la platina el acero inoxidable 304.

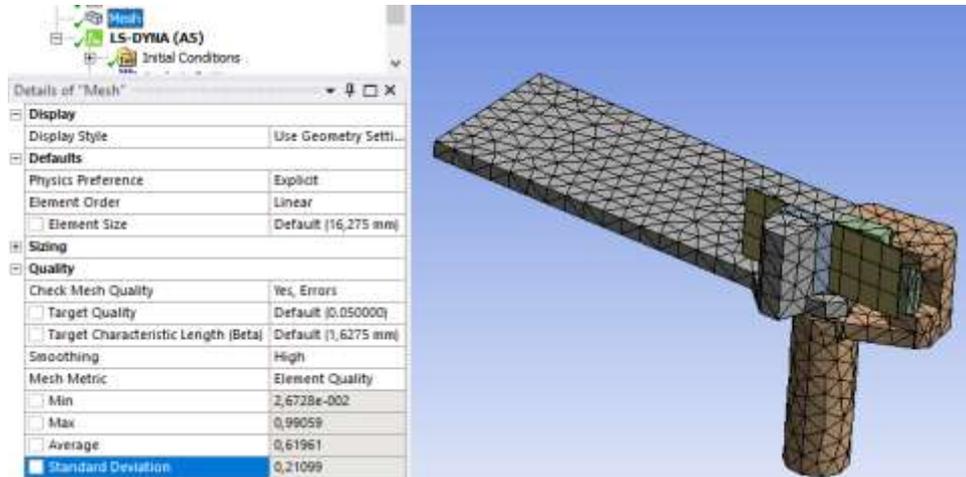


**Ilustración 3-55:** Asignación de material en los elementos de mecanismo de doblé

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.17.3. Mallado

Debido a limitaciones de software, el mallado de los componentes del mecanismo de doblez no se pudo refinar ya que el sizing requerido no pudo ser ingresado por problemas de software.

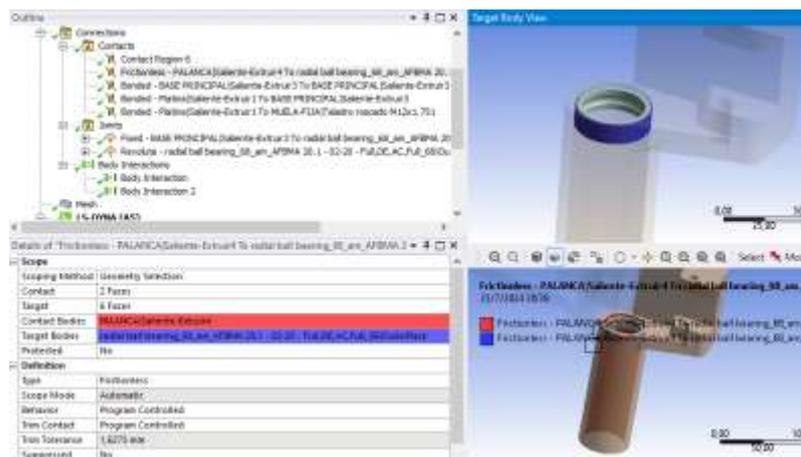


**Ilustración 3-56:** Mallado de mecanismo de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.17.4. Contactos, juntas e interacciones

Aquí se presentan los contactos e interacciones de los cuerpos del mecanismo de doblez, en donde se puede apreciar también juntas de rotación.

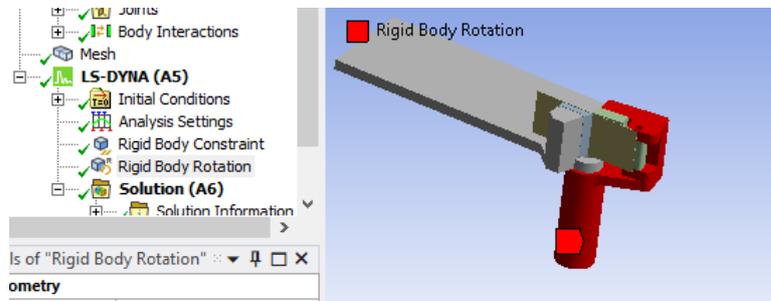


**Ilustración 3-57:** Contactos, juntas e interacciones del mecanismo de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.17.5. Condiciones de contorno y parámetros de simulación

Los parámetros que definen nuestro mecanismo se los ingreso después de un análisis del comportamiento del sistema para evidenciar una simulación que se asemeje al funcionamiento real, el cual solamente consta de una rotación de la palanca de doblez.



**Ilustración 3-58:** Condiciones de contorno y parámetros

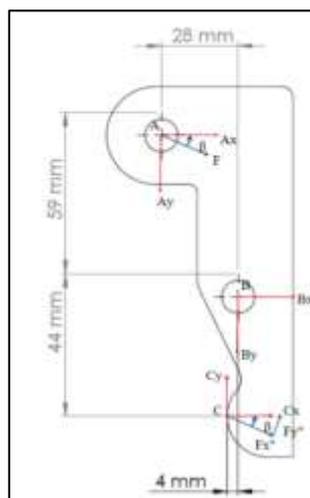
Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.18. Obtención de la fuerza de sujeción del pistón estáticamente

Para la selección del cilindro de sujeción se necesita el análisis de fuerzas justamente en la unión del pistón y la cuña, para este caso se plantea una fuerza de sujeción mayor a la que se necesita para realizar el doblado de la platina, además del desplazamiento angular de la cuña y el desplazamiento del pistón, donde:

F: 1588 N

$\beta$ : 11°



**Ilustración 3-59:** Diagrama de fuerzas en Cuña

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

Se plantea realizar el análisis de fuerzas en la cuña para determinar la fuerza en el eje Y ( $F_y''$ ).

### Sumatoria de momentos en B

$$\begin{aligned}\sum M_B &= 0 \\ -A_y(28) + A_x(59.46) - C_x(44) + C_y(4) &= 0 \\ -1588 * \text{sen}(11^\circ)(28) + 1588 * \cos(11^\circ)(59.46) - C_x(44) + C_y(4) &= 0\end{aligned}$$

Donde  $C_y$  es igual a 0 ya que se necesita solo la fuerza  $C_x$  producto de acción-reacción con la cuña.

$$\begin{aligned}83.9 \text{ Nm} - C_x(0.044)m &= 0 \\ C_x &= \frac{83.9 \text{ Nm}}{0.044m} \\ C_x &= 1907.025 \text{ N}\end{aligned}$$

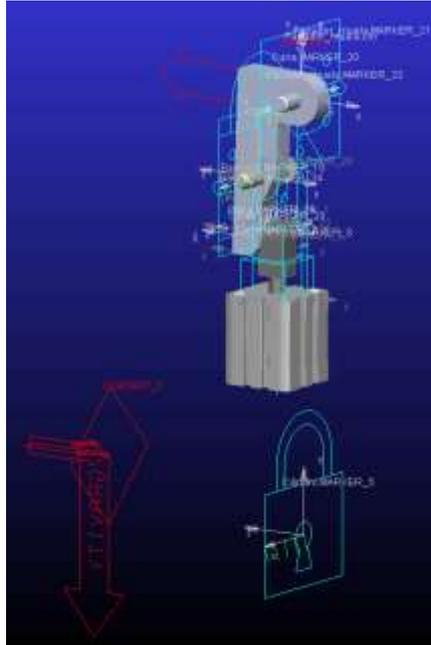
Para determinar  $F_y''$  se calcula la proyección de la fuerza  $C_x$  en el nuevo eje formado por el ángulo  $\beta$ .

$$\begin{aligned}F_y'' &= \text{sen}(\beta) * C_x \\ F_y'' &= \text{sen}(11) * 1907.025 \text{ N} \\ F_y'' &= 363.878 \text{ N}\end{aligned}$$

### 3.6.19. Obtención de la fuerza de sujeción del pistón mediante ADAMS

Se necesita realizar un análisis dinámico en donde interviene las condiciones a las cuales van a estar sujetos los componentes del mecanismo de sujeción. La fuerza aplicada va a ser la misma utilizada en el análisis estático de 1588 N y un desplazamiento de 12.2 mm necesarios para realizar el giro de  $11^\circ$ .

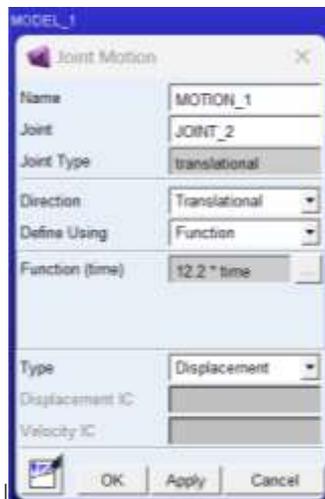
Se proporciona a cada elemento y unión su respectiva interacción entre sí, uniones, movimientos y fuerzas que van a ser responsables de la simulación y obtención de datos.



**Ilustración 3-60:** Condiciones y restricciones de simulación en ADAMS

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

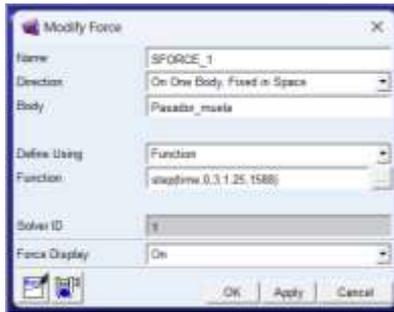
Se le proporciona al pistón del cilindro neumático un Motion del desplazamiento anteriormente mencionado para generar la fuerza máxima.



**Ilustración 3-61:** Definición de Motion del pistón

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

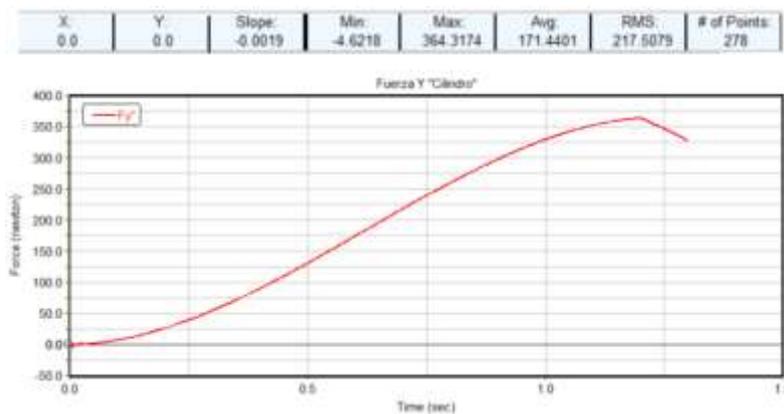
La fuerza ingresada se la realiza mediante pasos para tener una simulación que se acerque lo más posible a la realidad.



**Ilustración 3-62:** Fuerza aplicada en ADAMS

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

Con las restricciones y condiciones de diseño plateadas se obtiene la siguiente gráfica en donde se aprecia que la fuerza máxima en el eje Y es de 364.3174 N.



**Ilustración 3-63:** Curva de la fuerza Y aplicada en pistón

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

La fuerza que se obtuvo mediante estática y dinámica tiene un gran acercamiento. Por lo tanto, se considera correcto nuestro cálculo estático, pero para la selección del cilindro vamos a considerar la fuerza de 364.3174 N para tener un rango de seguridad más alto.

### 3.6.20. Selección del cilindro neumático

En base a la curva resultante de fuerzas del mecanismo de sujeción del análisis dinámico en ADAMS se obtuvo una fuerza de 365 [N] la cual nos permite saber si estamos en el rango de fuerzas a soportar por el cilindro a seleccionar, debido en que los catálogos nos entregan un rango de diámetros del vástago con las mismas especificaciones de resistencia especialmente a la presión a estar sometido, en nuestro caso se utilizó un sistema de aire comprimido el cual va de 4-6 [Bar].

$$P = \frac{F}{A}$$

**Ecuación 3-4**

Despejando el área:

$$A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{365 [N]}{0,5 [MPa]} = 730 \text{ mm}^2$$

Con esta área nos da un diámetro aproximado al inmediato superior de 31 [mm] entonces verificamos que este dentro de los diámetros que soportan esa presión y fuerza, se seleccionó un pistón compacto ACQ de doble efecto con un vástago de 20 [mm] de diámetro debido a que resiste nuestras condiciones de funcionamiento y reduce costos.



Especificación	
Diámetro interior(mm)	12 16 20 25 32 40 50 63 80 100
Funcionamiento	Tipo de doble efecto Tipo de simple efecto
Fluido	Aire (filtrado a través de un filtro de 40 um o más)
Alcance	Tipo de doble efecto 0.15-1,0MPa(22-145psi)
de presión	Tipo de simple efecto 0.2-1,0MPa(28-145psi)
Presión de prueba	1,5MPa(215psi)
Temperatura	+20-70°C
Rango de velocidad	Tipo de doble efecto: 30-500mm/S Tipo de simple efecto: 50-500mm/S
Rango de tolerancia a carrera	carrera≤100 -1,6 carrera>100 -1,3
Tipo de amortiguación	parachoques
Tamaño del puerto[Nota 1]	M5×0,8 G1/8 G1/4

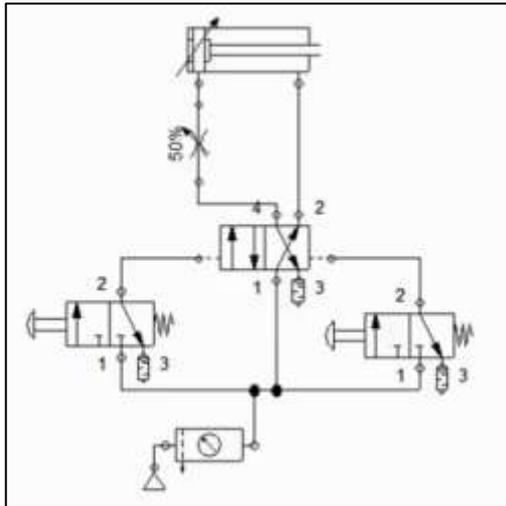
[Nota 1] Rosca PT, rosca G son opcionales.  
Además: consulte la página 431 para la selección del sensor.

**Ilustración 3-64:** Cilindro Compacto

Fuente: (AirTAG, 2024)

### 3.6.21. Conexión neumática

La conexión del sistema neumático se lo realizó en el software Fluid Sim el cual nos permite dar la lógica de funcionamiento mediante la representación esquemática de los componentes a instalar, este diagrama cuenta con la simbología de alimentación que es el aire comprimido que pasa por una unidad de mantenimiento que está conformado por un filtro de aire, regulador y lubricador, luego por unos pulsadores que nos indican las señales que van a ser entregadas por el PLC para su debida actuación dando paso al aire comprimido por la electroválvula la cual define la compresión y descompresión del cilindro.



**Ilustración 3-65:** Diagrama de conexión neumática

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.22. Selección de motor paso a paso

Para la aplicación del avance de la platina se necesita precisión por lo cual se seleccionó un motor paso a paso Nema 23 el cual nos entrega 1.8 grados por paso y un torque de 18.4 [kg.cm] permitiendo una aproximación muy buena a las distancias necesarias para cada doblez.



**Ilustración 3-66:** Motor paso a paso Nema 23

**Fuente:** (C&D, 2024)

### 3.6.23. Selección del tornillo de bolas

El tornillo de bolas son empleados para movimientos donde requieren ser precisos a lo largo de todos los hilos para un par de arrastre constante y bajo nivel de ruido, como lo es para nuestra máquina, se empleó un tornillo de bolas FSK1204-3 debido que su capacidad máxima es de 645 Kgf lo que supera a la carga necesaria del peso a mover de 1.8 Kgf, además que el diámetro del

eje donde se une por un acople flexible al motor paso a paso debe ser el mismo el cual tiene una dimensión de 12 [mm] de diámetro.



Número de modelo	Dimensión												
	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	H	n	Ca (kgf)	Coa (kgf)
0601-3	6	1	0.8	12	24	3.5	18	18	3.4	16	T3	111	123
0801-3	8	1	0.8	14	27	4	20	21	3.4	18	T3	126	182
0802-3	8	2	1.2	16	29	4	26	23	3.4	20	T3	215	239
0825-3	8	2.5	1.2	16	29	4	26	23	3.4	20	T3	215	239
1002-3	10	2	1.2	18	35	5	28	27	4.5	22	T3	240	302
1004-3	10	4	2	26	46	10	35	36	4.5	28	T3	472	489
1202-3	12	2	1.2	20	37	5	28	29	4.5	24	T3	265	377
1204-3	12	4	2.381	28	48	6	35	39	5.5	30	T3	645	693

**Ilustración 3-67:** Tornillo sin fin 1204-3

Fuente:(FSK & RSK, 2024)

### 3.6.24. Automatización

Para la automatización primero se determina los componentes que nosotros necesitamos controlar mediante el programa de PLC. En la siguiente tabla mostramos los dispositivos de entrada y salida los cuales van a ser automatizadas.

**Tabla 3-18:** Componentes de entrada y salida

ENTRADA	SALIDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor inductivo de distancia</li> <li>• Final de carrera 1</li> <li>• Final de carrera 2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor paso a paso</li> <li>• Motorreductor</li> <li>• Cilindro de sujeción</li> <li>• Cilindro de pinza</li> </ul>

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 3.6.24.1. Secuencia de funcionamiento

Para la secuencia de funcionamiento de la dobladora de platinas se considera primeramente los actuadores que se necesita para realizar un ciclo para realizar un doblado y luego replicarlo para los demás dobleces. A partir que se coloca la platina en el lugar establecido se comienza con la

sujeción de la platina, para la calibración del motor paso a paso, una vez posicionado comienza la liberación de la platina y se activa la pinza neumática para que el motor paso a paso comience a realizar el desplazamiento necesario. En el momento que la platina se desplazó la medida necesaria, la pinza se desactiva y da paso a la sujeción de la platina para que posteriormente el motorreductor realice el dobléz y regrese a su posición inicial terminando un ciclo de dobléz. Para el segundo y los demás dobléces la secuencia comienza desde la liberación de la platina y la activación de la pinza neumática para realizar el otro desplazamiento.

### 3.6.24.2. Componentes

Los componentes que se utilizó para la realizar el armado del tablero y la automatización han sido escogidos desde su funcionamiento hasta su facilidad de uso. A continuación, se presenta la tabla de componentes eléctricos y de control que se ha utilizado.

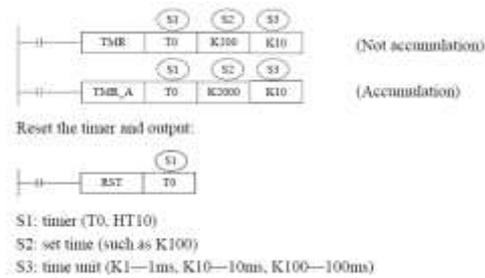
**Tabla 3-19:** Componentes para el armado del tablero de control

<b>COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS</b>	<b>Unidades</b>
MK2P-24VDC RELE MK2 8P 2NA+2NC	4
NXB-63 3P 10A 6KA BREAKER DIN	1
NXC-12 3P 220V CONTACTOR 3P 12A 220V	2
NXR-25 5.5-8A RELE TERMICO	1
RT18-32X BASE PORTAFUSIBLE 1P	1
NXB-63 1P 6A 6kA BREAKER DIN	1
XB2-BS542 PULSADOR HONGO RET METALICO	1
XB2-BD21 SELECTOR 2P METALICO	1
DRL-24V120W1EN FUENTE 24VDC 5A 120W	1
NXB-63 3P 20A 6KA BREAKER DIN	1
PRD12-4DN INDUCTIVO 12x4mm 12-24Vdc	1
XZ-9108 FINAL CARRERA PLASTICO PALANCA REGULABLE	2
PLC XINJE	1
BASES PARA RELE	4
BORNERAS DE UN PISO	8
BORNERAS DE DOS PISOS	6
DRIVER PARA MOTOR PASO A PASO	1
MOTOR PASO A PASO NEMA 23	1
PANTALLA KIMKO 4,3 in	1
GABINETE ELÉTRICO 40x50x20 cm	1
CABLE FLEXIBLE #18	1
FERRULES DE UN SERVICIO	60
FERRULES DE DOS SERVICIOS	60
CABLE DE CONEXIÓN PLC-PANTALLA	1

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.24.3. Código de programación

El código empleado fue escrito en lenguaje Ladder con los parámetros propios que permite el PLC XINJE, el código se adjunta en el **ANEXO H**. El código presenta memorias internas del PLC que facilitan la programación y control del motor paso a paso y motorreductor, además de la configuración de cada una de las entradas y salidas que se necesita procesar para el funcionamiento de la máquina dobladora de platinas.

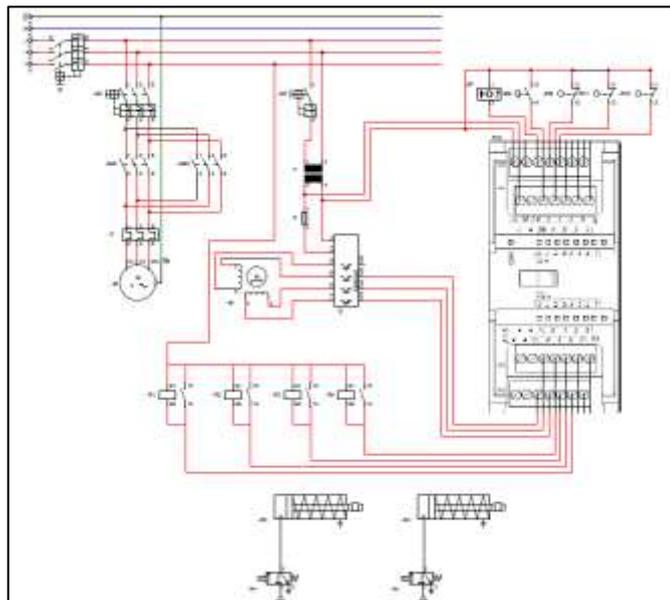


**Ilustración 3-68:** Código de programación

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.24.4. Diagramas de conexiones

A continuación, se presenta el diagrama de conexión tanto de los componentes eléctricos y de control que se requiere para la máquina dobladora de platinas. Se consideran además las fuentes de poder y protecciones tanto para motores y sistema eléctrico en general.



**Ilustración 3-69:** Diagrama de conexión

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

Cada uno de los componentes utilizados en la anterior representación se detallan en la siguiente tabla.

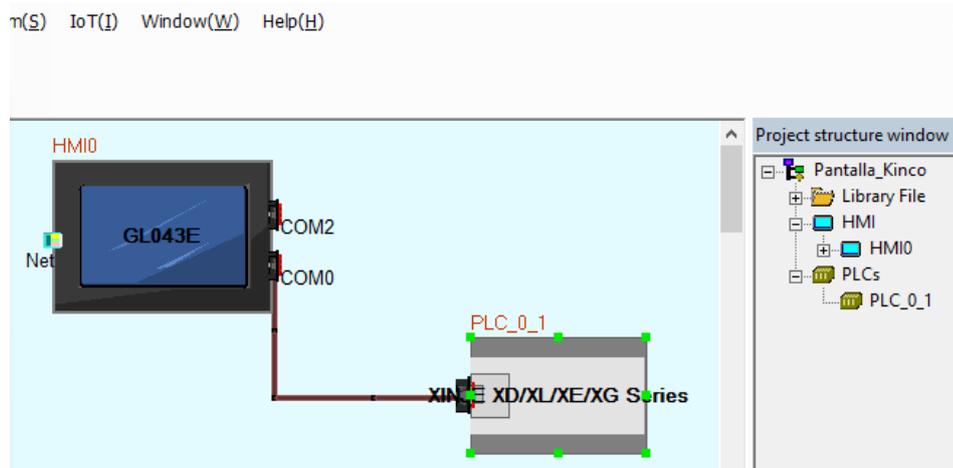
**Tabla 3-20:** Componentes del sistema de control

Componente	Símbolo
Motor trifásico	M1
Motor paso a paso	M2
Disyuntores de potencia	Q
Contactores	KM
Relé térmico	F1
Fusible	F2
Controlador motor paso a paso	G
Detector inductivo	SP
Pulsador	SM
Final de carrera	FC
Transformador	T

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 3.6.24.5. Interfaz de pantalla

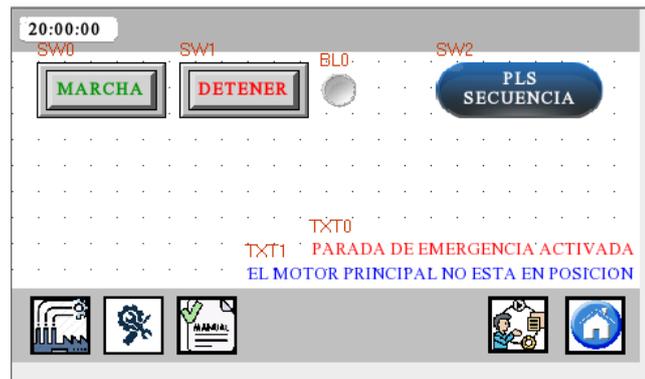
Para crear y programar la interfaz de la pantalla HMI se utiliza el mismo software libre proporcionado por la empresa KINCO. Primero se establece conexión entre el PLC y la pantalla tomando tanto el PLC XINJE y el modelo de pantalla a la cual queremos realizar la conexión.



**Ilustración 3-70:** Diagrama de conexión entre PLC y HMI

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

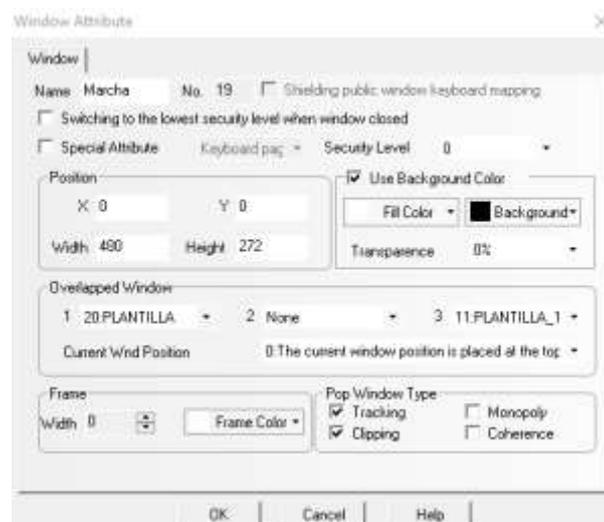
Dentro del software de KINCO nos plantean plantillas base en las cuales se pueden ir acomodando a las necesidades que se requiera. En nuestro caso se escogió una plantilla preestablecida en la cual se han realizado algunas modificaciones tanto el aumento de botones necesarios para el control de la máquina, también cuadros de texto en los cuales se van a ingresar las medidas de los dobleces y la velocidad de avance de la pinza. Por último, se añaden señales visuales que nos indicarán si el sistema está listo para realizar el ciclo de doblez.



**Ilustración 3-71:** Plantilla de interfaz de HMI

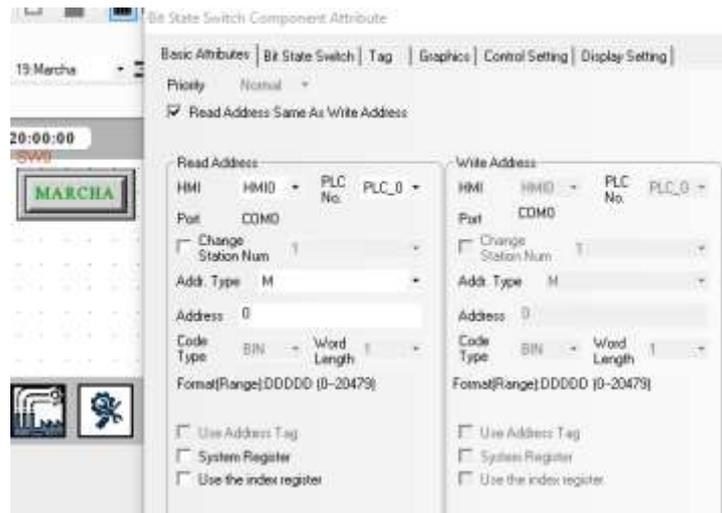
Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

Posteriormente a la conexión entre el PLC y el HMI y creado las plantillas de la interfaz se debe ahora realizar el enlace entre cada variable predispuesta en el código del PLC con los botones creados en la interfaz de nuestra pantalla HMI.



**Ilustración 3-72:** Configuración de botones HMI

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024



**Ilustración 3-73:** Configuración de puertos COM

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

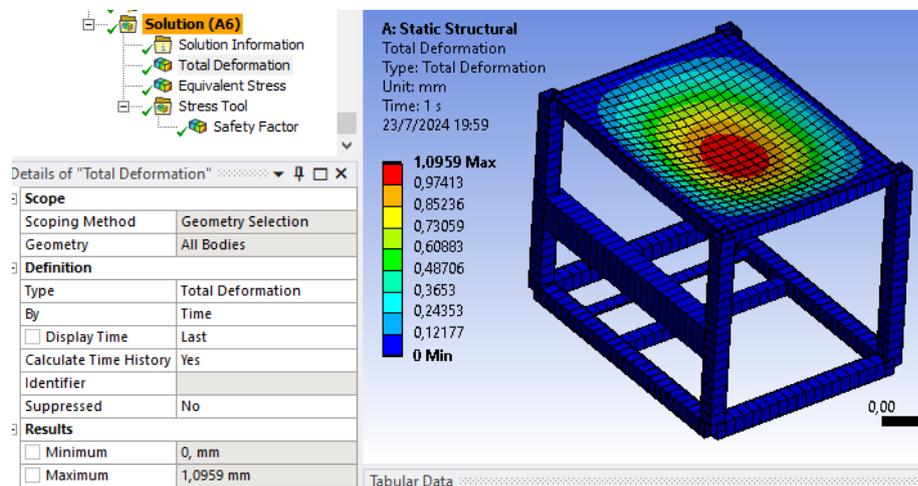
## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1. Validación CAE de la estructura

##### 4.1.1. Deformación

La estructura y la plancha en la cual van a ir sujetos todos los componentes de la máquina dobladora muestra una deformación máxima de 1,09 [mm], una deformación insignificante que no comprometerá el funcionamiento de la máquina ni el colapso de esta.

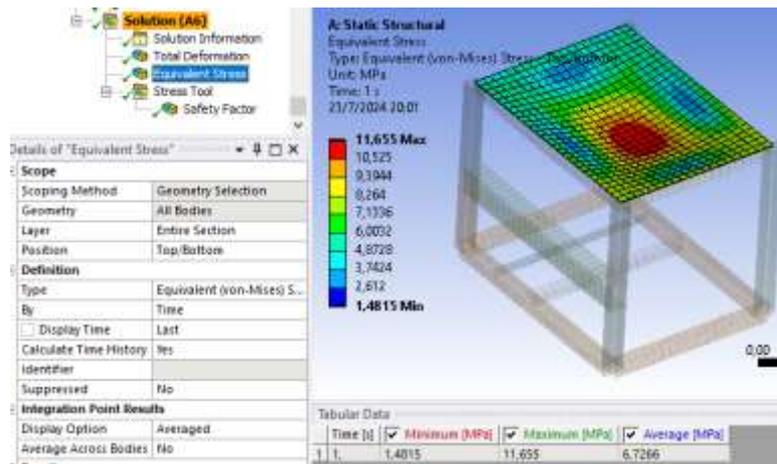


**Ilustración 4-1:** Deformación de estructura

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

##### 4.1.2. Esfuerzo

El esfuerzo máximo producido por los componentes sujetos a la estructura base es de 11,655 [MPa], que se encuentra en la base superior de la estructura donde se encuentran todos los componentes tanto de doblado y de avance.

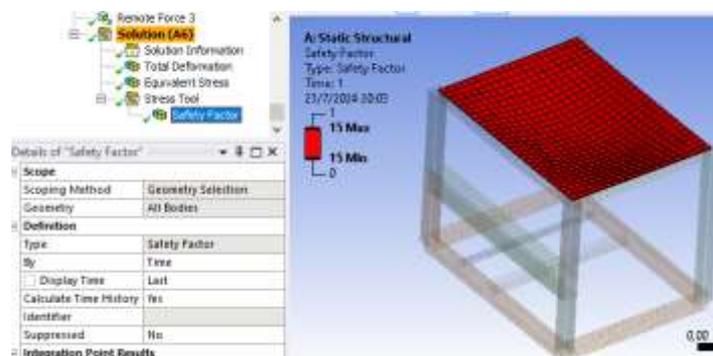


**Ilustración 4-2:** Esfuerzo máximo sobre plancha de la estructura

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.1.3. Factor de seguridad

El factor de seguridad que se obtiene al realizar la simulación es mayor que 15 por lo que se realizó un sobredimensionamiento de la plancha de acero debido a que esta necesita ser suficientemente rígida para que todos los mecanismos en la cual se sujetan no vayan a sufrir una descalibración durante el paso del tiempo.



**Ilustración 4-3:** Factor de seguridad de la estructura

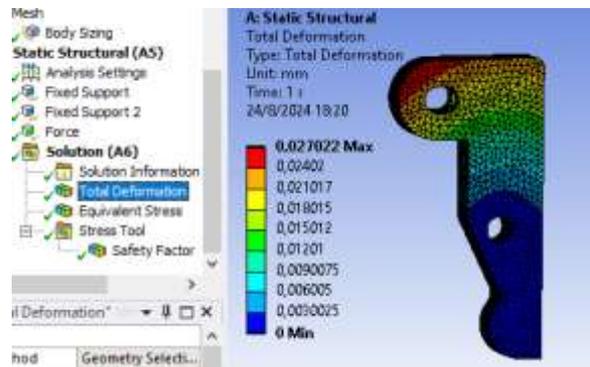
Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

## 4.2. Validación CAE de pieza de sujeción

### 4.2.1. Deformación

En base a nuestras condiciones y cargas que va a soportar esta pieza nos da una deformación de 0,027 [mm] lo que nos indica una deformación muy pequeña con respecto a la dimensión de la

pieza, dándonos la fiabilidad de que no producirá una deformación que evite el correcto funcionamiento de la máquina.

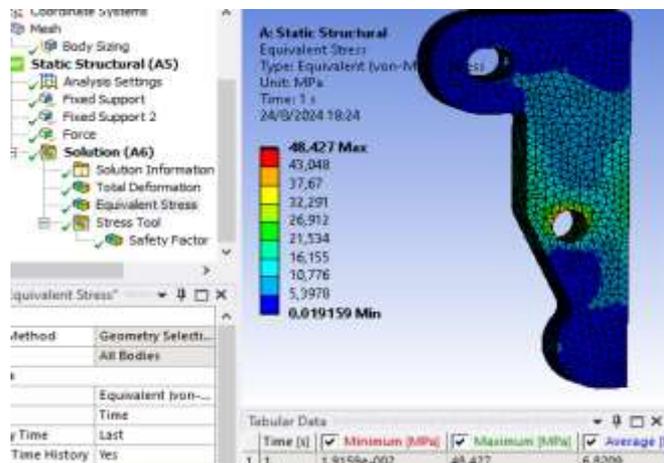


**Ilustración 4-4:** Deformación máxima de pieza de sujeción

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.2.2. Esfuerzo

El mayor esfuerzo se presenta en el pasador con un valor de 48,43 [N], y nos da una pauta para reforzar ese punto de ser el caso que el factor de seguridad no cumpla.

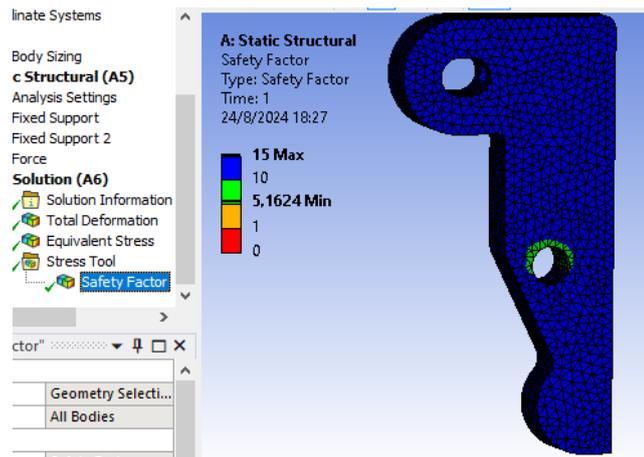


**Ilustración 4-5:** Máximo esfuerzo de pieza de sujeción

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.2.3. Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido es de 5,16 este valor nos indica que nuestra pieza con las condiciones que se encuentra sometida resiste 5 veces más y se encuentra en el margen de seguridad para resistir y soportar los esfuerzos del anterior ítem.



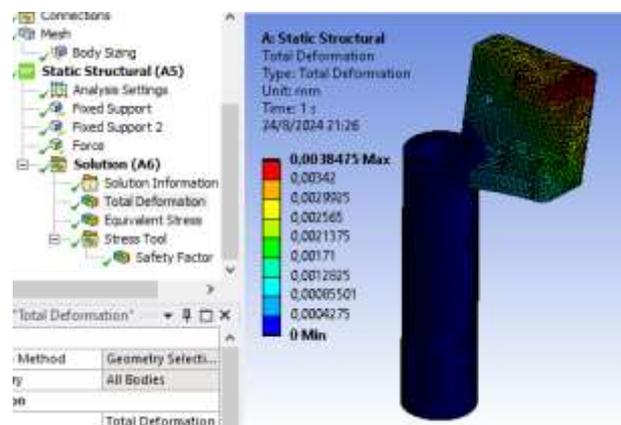
**Ilustración 4-6:** Factor de seguridad de pieza de sujeción

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 4.3. Validación CAE de la palanca de sujeción

#### 4.3.1. Deformación

En base a nuestras condiciones y cargas que va a soportar esta pieza nos da una deformación de 0,00385 [mm] lo que nos indica una deformación muy pequeña con respecto a la dimensión de la pieza, dándonos la fiabilidad al momento de trabajar la máquina dobladora.

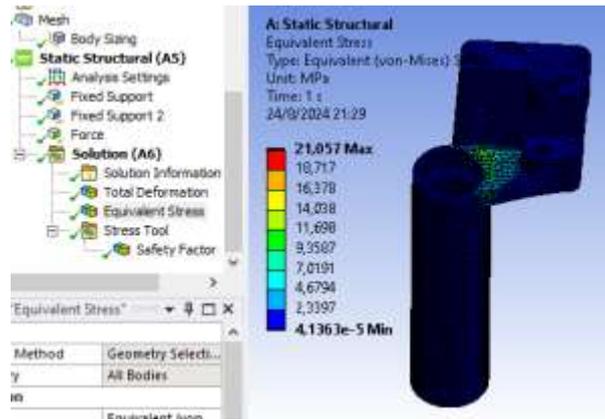


**Ilustración 4-7:** Deformación máxima de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.3.2. Esfuerzo

El análisis nos entrega como resultado que el esfuerzo máximo producido es de 21,057 [MPa] y este se produce en la unión de soldadura de las dos piezas siendo ese cuello como la zona crítica posible a una rotura y nos da una pauta para reforzar ese punto de ser el caso que el factor de seguridad no cumpla

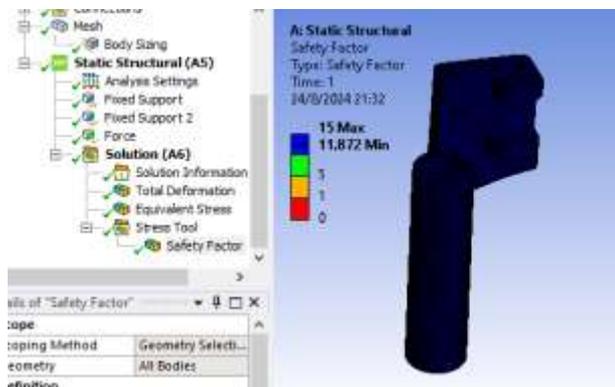


**Ilustración 4-8:** Esfuerzo máxima de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.3.3. Factor de seguridad

El factor de seguridad obtenido es de 11,87 este valor nos indica que nuestra pieza con las condiciones que se encuentra sometida resiste 11 veces más los esfuerzos del anterior ítem. Debido a la geometría de la pieza y el acople a los demás sistemas no se puede reducir en gran cantidad el factor de seguridad sino más bien mantenernos en un margen amplio de seguridad.



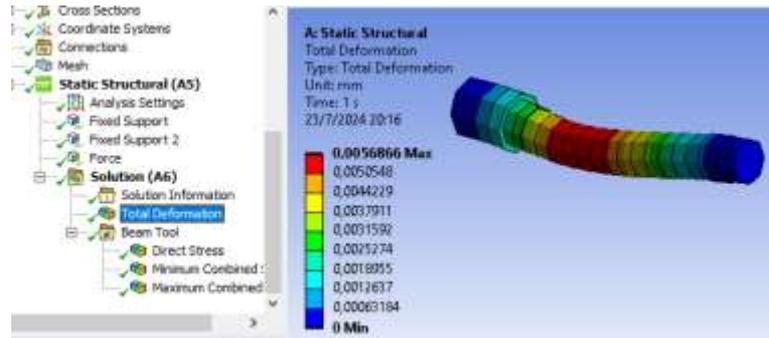
**Ilustración 4-9:** Coeficiente de seguridad de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 4.4. Validación CAE del eje interno de la palanca de doblez

#### 4.4.1. Deformación

Tras el análisis realizado para la simulación de esfuerzos y deformaciones del eje interno del mecanismo de doblez se obtiene una deformación máxima de 0,005 [mm] dicha deformación es insignificante como para comprometer el funcionamiento del mecanismo.

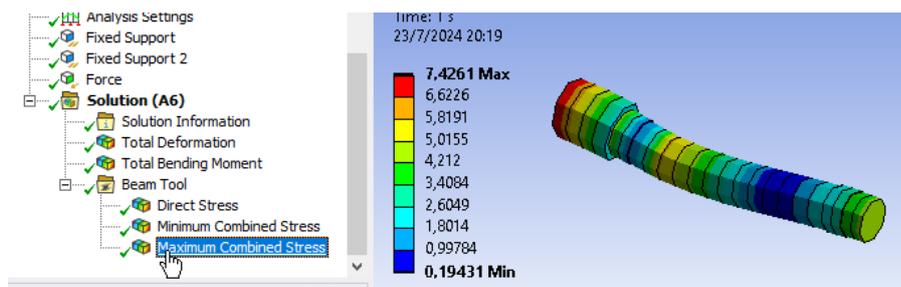


**Ilustración 4-10:** Deformación máxima de eje de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.4.2. Esfuerzo y factor de seguridad

EL esfuerzo máximo obtenido en el eje interno del mecanismo de doblez nos da 7.426 [MPa] con el cual se puede analizar el factor de seguridad considerando el material utilizado.



**Ilustración 4-11:** Esfuerzo máximo del eje de palanca de doblez

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.4.3. Coeficiente de seguridad

Para el coeficiente de seguridad se necesita plantearse una teoría de fallo donde se involucra el límite de fluencia del acero (210 [MPa]) y el esfuerzo máximo que se va a producir en el elemento.

En base a la **Ecuación 2-28**, tenemos:

$$\sigma = \frac{S_y}{n}$$

$$7,426 [Mpa] = \frac{210 [MPa]}{n}$$

$$n = 28,28$$

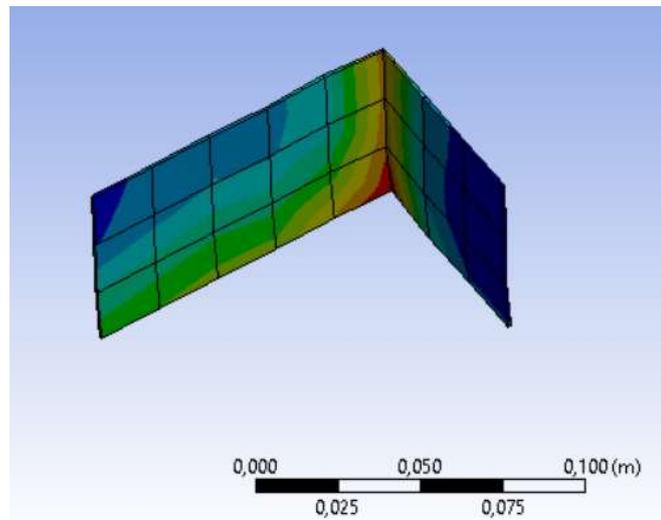
El factor de seguridad presente en el eje interno del mecanismo de doblez es elevado ya que se escogió el diámetro en base a la disponibilidad de los diámetros internos de los rodamientos que

van a estar ensamblados a este eje y también ya que el eje sirve de guía para la rotación de la palanca de doblez y más no de soporte.

#### 4.5. Validación CAE de la Simulación del doblez de la platina en ANSYS LS-DYNA

##### 4.5.1. *Movimiento del plegado de la platina*

Tras la simulación se obtuvo un movimiento acorde al deseado de 90° en donde podemos resaltar que el diseño del mecanismo de doblez cumple su función establecida.



**Ilustración 4-12:** Dobleza de 90° de platina

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

##### 4.5.2. *Comportamiento del material*

Tras el análisis de los resultados obtenidos en la simulación, se observa que los esfuerzos que se presentan en la platina varían de un mínimo de 12 [MPa] a un máximo de 460 [MPa] en donde se puede acotar que el máximo se obtiene en locaciones que se presenta concentradores de tensiones por lo cual estas tensiones deben ser analizadas teóricamente como incorrectas tomando para el análisis zonas aledañas a estas.

Para que se produzca el doblez permanente se debe superar el límite de fluencia del Acero Inoxidable 304 que es de 276[MPa] llegando a la zona plástica pero no exceder el límite último de rotura 568[MPa], en la simulación contamos con esfuerzos dentro de este rango por lo que se va a tener un comportamiento del material que asegure que no se va a presentar ninguna fisura ni rotura del material, además, de la geometría deseada.



**Ilustración 4-13:** Movimiento del plegado de platina

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.6. Tablero de control

En base al diagrama de conexión se procede hacer de armar el tablero de control.



**Ilustración 4-14:** Tablero de control

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.7. Interfaz HMI

##### 4.7.1. Sistema automático

Dentro del interfaz para el control de la máquina se tiene botones tanto para comenzar el ciclo y el paro de emergencia. A continuación, se describe cada botón.

**Marcha:** proporcionado para que en el momento de su activación la pinza de avance se posicione en el punto cero para comenzar con el ciclo.

**PLS Secuencia:** Una vez la pinza se encuentra posicionada se puede activar este botón que realiza el inicio del ciclo de doblez.

**Detener:** Este botón nos permite detener el proceso de doblez en cualquier punto del ciclo ante cualquier peligro o una nueva configuración de medidas.

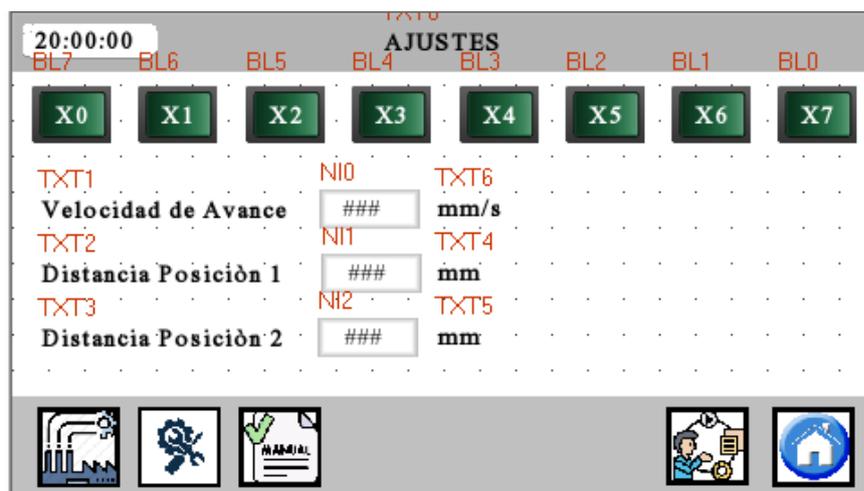


**Ilustración 4-15:** Interfaz del sistema automático

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.7.2. Pantalla de ingreso de parámetros para molde

En la interfaz de configuración de parámetros es donde se presentan los cuadros de texto donde se pueden ingresar los datos tanto de medidas del molde a realizar y de velocidad de avance, cada uno en las medidas que se presentan al costado de cada cuadro de texto.

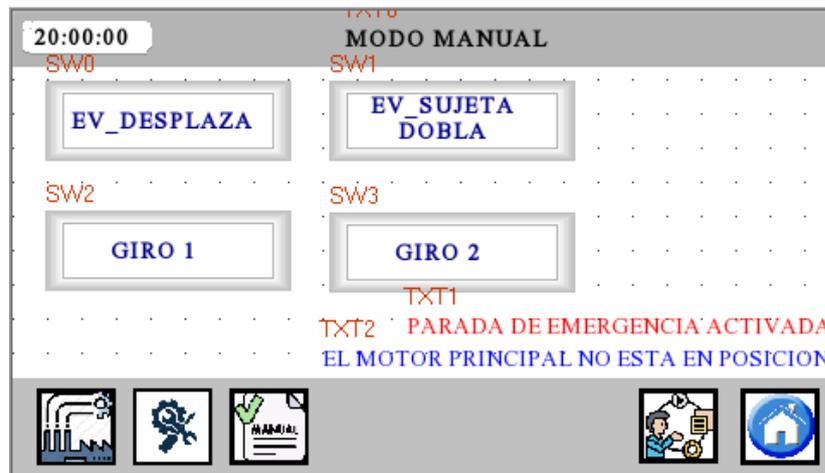


**Ilustración 4-16:** Interfaz de pantalla de ingreso de parámetros

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.7.3. Pantalla de accionamiento manual y prueba

La tercera interfaz que se plantea es para realizar pruebas manuales de todos los actuadores presentes en la máquina. Además, de textos de información que informan sobre alguna interferencia para realizar los procesos manuales.



**Ilustración 4-17:** Interfaz de pantalla de accionamiento manual

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.8. Construcción de máquina dobladora de platinas

Para realizar la construcción de la máquina dobladora de platinas se necesitó de varias herramientas, equipos y procesos de manufactura que fueron utilizados con un fin específico. Todos estos componentes se presentan en la tabla

**Tabla 4-1:** Lista de herramientas, equipos y procesos de manufactura

Herramientas	Equipos	Procesos de manufactura
Flexómetro	Taladro	CNC
Calibrador Pie de rey	Amoladora	Torno
Hexagonales	Soldadora	Cortadora laser
Destornilladores	Compresor de aire	Prensa hidráulica

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

##### 4.8.1. Sistemas y mecanismos presentes en la máquina dobladora de platinas

A continuación, se presentan todos los sistemas y mecanismos que la máquina dobladora de platinas posee además de su cantidad y el material de composición:

**Tabla 4-2:** Sistemas y mecanismos presentes en la máquina dobladora de platinas

Sistema/Mecanismo	Elemento	Cantidad	Composición
Sistema estructural	Estructura de soporte general	1	Tubo cuadrado de acero
	Palanca	1	Tubo circular de acero

Mecanismo de doblez	Eje interno	1	Eje circular de acero
	Muela de doblez	1	Barra cuadrada de acero
	Base	1	Plancha de acero
Mecanismo de sujeción	Cuña de sujeción	1	Plancha de acero
	Muela de sujeción	2	Barra cuadrada de acero
Sistema de avance	Estructura de soporte y avance	1	Plancha de acero
Sistema eléctrico y de control	Panel de control	1	Componentes de control
	Conexión eléctrica	1	Componentes eléctricos
Sistema neumático	Conexión neumática	1	Componentes neumáticos

Realizado por: Pruna, Dimar; Díaz, Alex 2024

#### 4.8.1.1. Construcción de sistema estructural de la máquina dobladora

A continuación, se presentan las actividades que se ha realizado en el momento de la construcción de la estructura general de la máquina dobladora de platinas.

**Tabla 4-3:** Construcción de sistema estructural

			
Elemento	Nº	Actividad	Tiempo (min)
Estructura de soporte general	1	Adquisición de material necesario	60
	2	Toma de medidas para patas	45
	3	Corte de tubería rectangular	30
	4	Corte de platinas de refuerzo según planos	40
	5	Corte laser de soportes de motor	25
	6	Corte laser de cubierta de estructura	30
	7	Escuadrado de patas y refuerzos	30

	8	Soldadura de todos los elementos	120
	9	Pulido de estructura	60
	10	Pintura	70
	11	Instalación de niveladores	10

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.8.1.2. Construcción de mecanismo de doblez

En la siguiente tabla se presenta los pasos y actividades que se realizó para la construcción del mecanismo de doblez.

**Tabla 4-4:** Construcción del mecanismo de doblez

			
Elemento	Nº	Actividad	Tiempo (min)
Mecanismo de doblez	1	Adquisición de material necesario	40
	2	Toma de medidas según planos	30
	3	Mecanizado de eje interno	45
	4	Corte de tubo circular para palanca	10
	5	Mecanizado CNC de muela	40
	6	Corte de plancha pata de soporte de muela	20
	7	Proceso de unión mediante soldadura	30
	8	Pulido	25
	9	Pintura	20
	10	Instalación de muela en palanca	10

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.8.1.3. Construcción de mecanismo de sujeción

A continuación, se presenta las actividades y procedimientos que se necesitó para la construcción del mecanismo de sujeción.

**Tabla 4-5:** Construcción del mecanismo de sujeción

			
Elemento	Nº	Actividad	Tiempo (min)
Mecanismo de sujeción	1	Adquisición de material necesario	40
	2	Toma de medidas según planos	30
	3	Mecanizado CNC de cuña	45
	4	Mecanizado CNC de muela	40
	5	Pulido	30
	6	Pintura	20
	7	Ensamble de mecanismo a la estructura	20

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.8.1.4. Construcción de sistema de avance

En la siguiente tabla se encuentran los procesos y actividades relacionadas a la construcción de sistema de avance de la máquina dobladora de platinas.

**Tabla 4-6:** Construcción de sistema de avance

			
Elemento	Nº	Actividad	Tiempo (min)
Mecanismo de avance	1	Adquisición de material necesario	30
	2	Toma de medidas según planos	30

	3	Corte laser de platinas para soportes de sistema de avance	20
	4	Corte laser de platina para soporte de motor	35
	5	Corte de soporte para sensor de distancia	20
	6	Pulido	15
	7	Ensamble de todos los componentes (base, soportes, motor, pinza, tornillo sin fin)	30

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.8.1.5. Construcción de sistema eléctrico y de control

A continuación, se presenta las actividades de construcción del sistema de eléctrico y control de la máquina dobladora de platinas.

**Tabla 4-7:** Construcción de sistema eléctrico y de control

			
Elemento	N°	Actividad	Tiempo (min)
Sistema eléctrico y de control	1	Adquisición de material y equipos necesarios	45
	2	Instalación de componentes eléctricos y de control en el tablero de control.	200
	3	Conexión eléctrica y de control de actuadores.	90
	4	Conexión eléctrica y de control de los componentes de entrada.	70

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.8.1.6. Construcción de sistema neumático

En la siguiente tabla se presenta los procesos y actividades para la construcción del sistema neumático de la máquina dobladora de platinas.

**Tabla 4-8:** Construcción de sistema neumático

			
Elemento	N°	Actividad	Tiempo (min)
Sistema neumático	1	Adquisición de material y equipos necesarios	45
	2	Instalación de filtro de aire	10
	3	Instalación de electroválvulas	20
	4	Conexión de tubería neumática entre válvulas y actuadores	20

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

### 4.9. Análisis de costos

En este apartado se muestra y se desglosa todos los costos de materiales utilizados en la construcción de la máquina dobladora de platinas además del costo de los procesos de manufacturas empleados para su desarrollo. Los costos directos e indirectos buscan contemplar el costo real de la máquina dobladora de platinas.

#### 4.9.1.1. Costos directos

Estos costos son aquellos que están involucrados directamente en la construcción de la máquina, están relacionados desde materiales, alquiler de máquinas, mano de obra si fue requerido. Todos estos costos son detallados en las siguientes tablas.

**Tabla 4-9:** Tabla de costos de componentes mecánicos

<b>COMPONENTES MECÁNICOS</b>			
<b>Item</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo Unitario [u/\$]</b>	<b>Costo Total [\$]</b>
Motor motive DELPHI y motorreductor BOX	1	500,00	500,00
Tornillo de bolas 1204 con tuerca de sujeción	1	88,90	88,90
Soporte BK10-c5	1	17,40	17,40
Soporte BF10	1	17,40	17,40
Acople flexible 8mm	1	10,25	10,25
Guías lineales	1	45,50	45,50
Rodamientos FBJ	2	3,50	7,00
Acople para guías br12	1	12,20	12,30
Catalinas + cadenas	1	145,00	145,00
Plancha de acero astma36 6 mm	1/2	170,00	85,00
Tubo cuadrado 50x50x2 mm	1	35,00	35,00
Angulo de 30x30x3 mm	1/8	24,00	3,00
Plancha de tol galvanizado	1/2	60,00	30,00
<b>TOTAL</b>			<b>996,75</b>

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

**Tabla 4-10:** Costos de componentes electrónicos

<b>COMPONENTES ELECTRÓNICOS</b>			
<b>Item</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo Unitario [u/\$]</b>	<b>Costo Total [\$]</b>
MK2P-24VDC relé MK2 8P 2NA+2NC	4	3,96	15,82
NXB-63 3P 10A 6KA BREAKER DIN	1	6,22	6,22
NXC-12 3P 220V CONTACTOR 3P 12A 220V	2	10,28	20,56
NXR-25 5.5-8A Relé Térmico	1	12,44	12,44
RT18-32X base porta fusible 1P	1	1,82	1,82
NXB-63 1P 6A 6kA breaker DIN	1	2,63	2,63
XB2-BS542 pulsador hongo RET metálico	1	2,51	2,51
XB2-BD21 selector 2P metálico	1	2,15	2,15
DRL-24V120W1EN fuente 24VDC 5A 120W	1	49,68	49,68
NXB-63 3P 20A 6KA BREAKER DIN	1	6,44	6,44
PRD12-4DN Inductivo 12x4mm 12-24Vdc	1	24,45	24,45
XZ-9108 final carrera plástico palanca regulable	2	9,15	18,30
PLC XINJE	1	191,00	191,00
Bases para relé	4	1,5	6
Borneras de un piso	8	1,75	14
Borneras de dos pisos	6	1,85	11,1
Driver para motor paso a paso	1	36	36
Motor paso a paso NEMA 23	1	63	63
Pantalla KIMKO 4,3 in	1	175	175
Electroválvula de 1/8 in 12-24 VDC	2	33,45	66,9
Gabinete eléctrico 40x50x20 cm	1	55	55

Cable flexible #18	1	-	7
Ferrules de un servicio	60	-	1,9
Ferrules de dos servicios	60	-	2,1
Cable de conexión PLC-Pantalla	1	20	20
TOTAL			812,02

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

**Tabla 4-11:** Costo de componentes neumáticos

COMPONENTES NEUMÁTICOS			
Item	Unidades	Costo Unitario [u/\$]	Costo Total [\$]
Unidad de mantenimiento	1	12,40	12,40
Cilindro neumático 20x10 AP	1	44,10	44,10
Cilindro neumático 40x20 AP	1	71,67	71,67
Manguera neumática #6	1	6,00	6,00
TOTAL			134,17

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

**Tabla 4-12:** Costo de alquiler de máquinas y procesos de manufactura

ALQUILER DE MAQUINAS HERRAMIENTAS Y PROCESOS DE MANUFACTURA CNC			
Item	Cantidad/Horas	Costo Unitario [h/\$]	Costo Total [\$]
Mecanizado CNC	5	45,00	225,00
Corte plasma CNC	1	40,00	40,00
Torno convencional	1	35,00	35,00
Máquinas y herramientas	-	-	100,00
Máquina de soldadura	-	-	50,00
Plegado hidráulico 6mm	16	1,50	24,00
Plegado hidráulico tol	32	1,00	32,00
Pernos y tuercas	-	-	20,00
Pintura	1	15,00	15,00
TOTAL			541,00

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

La suma de todos estos componentes y procesos nos da como resultado los costos directos que proyectan el gran porcentaje del costo total de la construcción de la máquina dobladora de platinas.

**Tabla 4-13:** Costos directos

COSTOS DIRECTOS	
Item	Costo [\$]
Componentes electrónicos	812,02
Componentes neumáticos	134,17

Componentes mecánicos	996,75
Alquiler y manufactura	541,00
<b>TOTAL</b>	<b>2483,944</b>

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.9.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos se presentan en la siguiente tabla, al no contar con mano de obra externa se presenta solamente el alquiler de camionetas para el transporte del material necesario y de alimentación ya que el lugar de construcción no era en el de residencia.

**Tabla 4-14:** Costo Indirecto

<b>COSTOS DIRECTOS</b>	
<b>Item</b>	<b>Costo [\$]</b>
Alimentación	100,00
Transporte	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>200,00</b>

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.9.1.3. Costo total

La suma de los costos directos e indirectos nos da como resultado el costo total de la construcción de la máquina. Como resultado nos da un costo total de 2683,94 \$.

**Tabla 4-15:** Costo Total

<b>COSTOS TOTALES</b>	
<b>Item</b>	<b>Costo [\$]</b>
Costos directos	2483,94
Costos indirectos	200,00
<b>TOTAL</b>	<b>2683,94</b>

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

Dado que esta máquina presenta varias aplicaciones al realizar pequeñas modificaciones en su estructura y su no existencia en el mercado se puede catalogar como una máquina multifuncional haciendo así que el precio sea aceptado.

## 4.10. Calibración de máquina dobladora de platinas

### 4.10.1. Calibración de desplazamiento

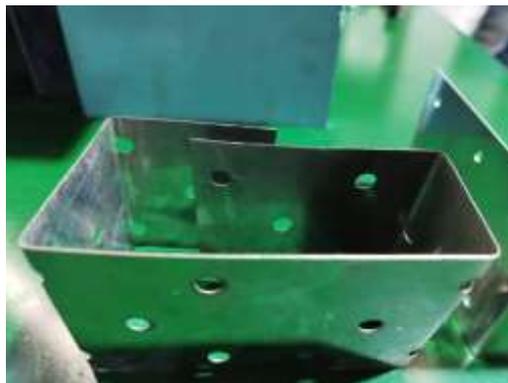
Para la calibración del desplazamiento de la pinza se considera el tipo de driver que se tiene para el motor paso a paso, en el caso de la máquina dobladora de platinas se tiene un driver que cuenta con una configuración de reconocimiento de 1000 pulsaciones, conociendo el paso de nuestro tornillo sin fin de 0,4 [mm] se puede obtener la razón con la cual se debe trabajar para la conversión de las medidas de los pliegues en [mm] que se ingresa en el HMI a las pulsaciones reconocidas por el PLC.

$$\text{Razón} = \frac{1000}{4}$$
$$\text{Razón} = 250 \text{ pulsaciones/mm}$$

Sabiendo que el motor utilizado cuenta con 200 pulsaciones por revolución, nos da como resultado:

$$250 \frac{\text{pulsaciones}}{\text{mm}} * \frac{1 \text{ rev}}{200 \text{ pulsaciones}} = 1,25 \frac{\text{rev}}{\text{mm}}$$

Por lo tanto, obtenemos que por cada 1,25 revoluciones generadas en el motor paso a paso se obtendrá un desplazamiento de 1 [mm].



**Ilustración 4-18:** Calibración de doblez

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.10.2. Calibración del sensor de distancia

Para la calibración del sensor de distancia se toma en cuenta la distancia desde la posición del sensor hasta el pistón de aproximación con el cual va a estar interactuando. Se considera una distancia de calibración de 8 [mm]. Mediante un soporte corredizo del sensor se puede ir corriendo la distancia hasta obtener la medida requerida. En la siguiente tabla se muestran las medidas iniciales y finales en el proceso de calibración.

**Tabla 4-16:** Pruebas de calibración de sensor de distancia

Nº de prueba	Distancia [mm]
1	8,6
2	7,1
3	7,7
4	8,3
5	8

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.10.3. Calibración del ángulo de doblez

En el caso del ángulo del doblez de trabajó con los finales de carrera que se encuentran anclados a la base cerca de topes que se encuentran unidos al eje del sistema de transmisión de potencia en la catalina mayor. Con el movimiento de estos finales de carrera se pueden obtener diferentes ángulos de doblez por lo que se requiere de un proceso de prueba y error hasta dar con el ángulo de 90° de pliegue. A continuación, se presentan se presentan imágenes en las cuales se observa las pruebas realizadas hasta obtener el ángulo deseado.



**Ilustración 4-19:** Prueba de ángulo de doblez N°1

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024



**Ilustración 4-20:** Prueba de ángulo de doblez N°1

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024



**Ilustración 4-21:** Prueba de ángulo de doblez N°1

**Realizado por:** Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.11. Pruebas de funcionamiento de máquina dobladora de platinas

En la siguiente tabla se presentan ítems los cuales fueron verificados con la finalidad de satisfacer las necesidades planteadas al construir esta máquina.

**Tabla 4-17:** Pruebas de funcionamiento de máquina dobladora

Proceso	Nivel de satisfacción				Observaciones
	1	2	3	4	
Dobleza a 90°				x	
Desplazamiento requerido				x	
Sujeción de platina mediante pinza			x		Para que se realice una correcta sujeción de la platina se debe verificar que esta no cuente con

					sustancias viscosas que impidan la fácil sujeción con la pinza
Sujeción de platina en la muela				x	
Secuencia del proceso de dobléz				x	
Interactividad HMI				x	

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

#### 4.12. Análisis de producción

Para realizar el análisis de rentabilidad se planteó la toma de tiempos por molde tanto de forma manual y el tiempo que se tarda la máquina. En la siguiente tabla se muestran la toma de tiempos con 7 pruebas.

**Tabla 4-18:** Análisis de producción

Manual		Máquina	
			
Nº moldes	Tiempo [minutos]	Nº molde de 500 g	Tiempo [minutos]
1	5,6	1	1,6
2	6,3	2	1,5
3	6,6	3	1,4
4	5,7	4	1,5
5	6	5	1,5
6	6,3	6	1,6
7	5,6	7	1,4
<b>Promedio</b>	<b>6,014</b>	<b>Promedio</b>	<b>1,5</b>

Realizado por: Pruna, Dimar; Diaz, Alex 2024

Una vez obtenido el tiempo promedio por molde, se considera un lote de 400 unidades. Se tiene que manualmente se tardaría en completar el doblado de todos los moldes en 5 días laborales de 8 horas cada día. Ahora por el lado del proceso automatizado de la máquina dobladora de platinas se tiene que lo realizaría en un tiempo de 10 horas.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Se diseñó satisfactoriamente un modelo funcional de una máquina dobladora de platinas que va desde su estructura hasta los elementos mecánicos que interactúan con el proceso de doblado, además los resultados de simulación de los elementos críticos nos permitieron conocer que estos no van a tener un fallo debido a que los coeficientes de seguridad son mayores que 1. Para la selección de componentes se obtuvo los parámetros requeridos mediante cálculos para cada sistema para posteriormente utilizar catálogos de marcas comerciales en el país.

La automatización de la máquina dobladora de platinas se llevó a cabo con éxito mediante la selección de cada componente que posee nuestra máquina y la utilidad de un PLC Xinje el cual se acopla de forma universal a los componentes seleccionados, utilizando el lenguaje Ladder para realizar la secuencia de funcionamiento.

Mediante el uso del software LS-Dyna y su respectiva configuración de las condiciones de contorno que interactúan entre la platina y el sistema de doblado obteniendo el comportamiento geométrico para un pliegue de 90° de un molde rectangular de queso. Además, se obtuvo los valores de los esfuerzos producidos en la platina que se encuentran dentro del rango del límite de fluencia y el último esfuerzo de rotura con los cual se concluyó que el material va a contar con un comportamiento plástico asegurando la geometría deseada y su resistencia.

Se realizó la calibración de los elementos de control para el correcto funcionamiento de la máquina dobladora de platinas. Para el motor paso a paso se requirió encontrar la relación necesaria para la conversión de [mm] a pulsaciones dicha relación es de 250, esto se lo encontró al conocer el paso del tornillo de bolas 0.4 [mm] y las pulsaciones del driver del motor paso a paso de 1000 pulsaciones. Además, se realizó la calibración del sensor de distancia y el doblado de 90 ° mediante la regulación de las posición inicial y final de los finales de carrera. Obteniendo un molde de 500 g por cada minuto y medio a una configuración de avance de 100 mm/s y un molde de 1000 g por cada minuto con 40 s.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda realizar una investigación detallada sobre los sistemas que tendrá cabida en la máquina dobladora de platinas para obtener un modelado 3D en el cual se puede realizar correcciones de diseño y de posicionamiento de componentes asegurándonos que la interacción de estos sea la correcta además que permita el montaje y desmontaje cómodo para el usuario encargado de las labores de mantenimiento.

En el proceso de sujeción y avance mediante la pinza se debe tomar en cuenta que la platina no se encuentre con sustancias que puedan generar lubricación ya que esto produciría deslizamiento entre las superficies de contacto y de esta forma no tener un desplazamiento con las medidas requeridas.

Para la selección de los componentes tanto de la parte mecánica y de automatización se recomienda que sean de marcas comerciales en el país y que tengan compatibilidad entre ellas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **PDSVISION.** *ANSYS LS DYNA Training Course.* Wilde Analysis. [blog]. [Consulta: 16 de marzo 2024]. Disponible en: <https://pdsvision.com/wilde-analysis/>
2. **AZUERO, Ángel.** “Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación”. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía* [en línea], 2019, (Venezuela), págs. 110 - 120. Disponible: <https://fundacionkoinonia.com.ve/ojs/index.php/revistakoinonia/article/view/274>
3. **BATTO, Pablo.** *Los moldes para quesos Forma Formaggio y Fromage.* [blog]. (2011). [Consulta: 16 marzo 2024]. Disponible en: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
4. **BECERRA, Mariana & BERNARDINO, Jaqueline.** Tratamientos térmicos. *TEPEXI* [en línea], 2021, (México), págs. 41-43. [Consulta: 23 mayo 2024]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/348288185\\_Tratamientos\\_termicos](https://www.researchgate.net/publication/348288185_Tratamientos_termicos)
5. **BOMBÓN, Mario.** Análisis de la variación de velocidad de avance en la soldadura del acero inoxidable austenítico AISI 304 mediante el proceso GMAW y su incidencia en la defectología. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad técnica de Ambato, Carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato-Ecuador). (2014). págs. 16-23. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/485a4633-ffac-4b9e-8eaa-e52dd42bb5c5/content>
6. **BUDYNAS, Richard & NISBETT, Keith G.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,* FreeLibros. (2012), págs. 15-17.
7. **CALVO, Adrián.** Diseño y cálculo de un reductor de velocidad para el accionamiento de una cinta transportadora de mineral de litio. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. (2018). págs. 6-8. Disponible en : <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/111574/Fern%C3%A1ndez%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20c%C3%A1lculo%20de%20un%20reductor%20de%20velocidad%20para%20el%20accionamiento%20de%20una%20cinta%20trans....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
8. **CENTENO, Jairo & JIMÉNEZ, Víctor.** Manual consultivo de control neumático y electroneumático utilizando el software FESTO FluidSIM. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi. Cotopaxi- Ecuador. (2010). págs. 9-13. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/604/1/T-UTC-1070.pdf>
9. **DIPAC.** *Catálogo de productos.* [blog]. (2022). [Consulta: 30 junio 2024]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>

10. **EEEGUIDE**. *Online Electrical and electronic study*. [blog]. (2022). [Consulta: 4 julio 2024]. Disponible en: <https://www.eeeguide.com/on-off-controller/>
11. **FBJ**. *FBJ Corporation*. [blog]. (2024). [Consulta: 6 julio 2024]. Disponible en: <https://www.fbj-bearings.com/engineering.asp?cat=17#Engineering-Data>
12. **FESTO**. *Casa Hermes*. [blog]. (2018) [Consulta: 5 julio 2024]. Disponible en: <https://casahermes.co/product/actuadores-cilindros-neumaticos-festo/>
13. **CHIN SING**. *Tornillo de bolas FSK & RSK*. [blog]. (2024). [Consulta: 5 julio 2024]. Disponible en: [https://www.bearing-sleeve.com/es/product/ball-screw-FSK\\_RSK.html](https://www.bearing-sleeve.com/es/product/ball-screw-FSK_RSK.html)
14. **GARCÍA, Cristina**. Simulación de un proceso de embutición mediante *ANSYS LS-DYNA*. [En línea]. (Trabajo de titulación). Instituto Tecnológico y de estudios. Monterrey-México. (2018). págs. 12-15. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/30042312.pdf>
15. **GUTIÉRREZ, Marllelis & ITURRALDE, Sadi**. Fundamentos básicos de instrumentación y control. [en línea]. Ecuador: UPSE, 2017. [Consulta: 16 julio 2024]. Disponible en: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%3%A1sico+de+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>
16. **LÓPEZ, Claudia**. Obtención de películas delgadas de acero inoxidable 304 y su caracterización electroquímica. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Doctorado). Centro de investigación en materiales avanzados, S.C. Chihuahua-México. (2012). págs. 22-24. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/515/1/Tesis%20Claudia%20L%C3%B3pez%20Mel%C3%A9ndez%20.pdf>
17. **MENGHINI, Pablo & RINGEGNI, Pablo**. Mecanismos y elementos de máquinas Remaches y chavetas. [en línea]. [Consulta: 20 julio 2024]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-tecnologica-nacional/estatica-y-resistencia-de-materiales/apunte-remaches-y-chavetas/71081471>
18. **DIM 6885/DIM 6885**. *Keys-clavettes-chavetas DIM 6885 A*.
19. **RUIZ, José**. *Proyecto de Mejoramiento de Tecnología De Estampado y Troquelado*. [blog]. (2017). [Consulta: 30 junio 2024]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/49118162/calculo-fuerzas-para-doblez>
20. **MALO YAGÜE, Laura**. Control de un motor paso a paso. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Zaragoza, Especialidades en Electrónica, Ingeniería Técnica Industrial. Zaragoza-España. 2011. págs. 27-49. [Consulta: 2024-04-20]. Disponible en: <https://zagan.unizar.es/record/5655/files/TAZ-PFC-2011-107.pdf>
21. **GÓMEZ MOROTO, María**. Diseño y dimensionamiento de una línea de elaboración de queso D.O Mancha a partir de 2500 l/día de leche en el T.M de Villacañas (Toledo). [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Madrid, Tecnología de los

- alimentos, Escuela técnica superior de ingeniería agronómica, alimentaria y de biosistemas. Madrid-España. 2020. págs. 74-96. [Consulta: 2024-04-14]. Disponible en: [https://oa.upm.es/65897/1/TFG\\_MARIA\\_GOMEZ\\_MAROTO.pdf](https://oa.upm.es/65897/1/TFG_MARIA_GOMEZ_MAROTO.pdf)
22. **MAYURI FERRE, Carlos Eduardo & DIAZ PAREDES, Heyler Yuler.** Implementación del lean manufacturing para mejorar la productividad en la fabricación de reductores de velocidad en la compañía peruana S.A.C., 2016. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Privada del Norte, Facultad de ingeniería, Escuela de ingeniería industrial. Lima-Perú. 2016. págs. 32-40. [Consulta: 2024-04-16]. Disponible en: [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10876/T055\\_40058870\\_T.pdf?sequence=3](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10876/T055_40058870_T.pdf?sequence=3)
23. **MELLENDEZ, Sam.** *Tipos de transmisiones de potencia.* [blog]. (2021). [Consulta: 21 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.cpacific.cl/blog/tipos-de-transmisiones-de-potencia>
24. **MOTIVE.** *Box Nema Motorreductor.* [blog]. (2024). [Consulta: 30 junio 2024]. Disponible en: <https://www.motive.it/es/configuratore.php>
25. **NÁPOLES, Elsa; et al.** *Una introducción al Análisis por Elementos Finitos: aplicaciones y ejemplos.* [blog]. (2015). [Consulta: 24 abril 2024]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Raide-Gonzalez-Carbonell>
26. **NOVACERO BROCHURE.** *Catálogos de productos.* [blog]. (2024). [Consulta: 30 junio 2024]. Disponible en: [https://www.novacero.com/wp-content/uploads/2021/05/NOVACERO-BROCHURE\\_090719\\_HR.pdf](https://www.novacero.com/wp-content/uploads/2021/05/NOVACERO-BROCHURE_090719_HR.pdf)
27. **ORTÍZ LÓPEZ, Víctor Aarón.** Estudio del acero inoxidable y los beneficios que ofrece en la preparación de alimentos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de estudios superiores Aragón, Escuela de mecánica. Aragón-México. s. f. págs. 52-60. [Consulta: 2024-04-14]. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000692662/3/0692662.pdf>
28. **AMIREZ LÓPEZ, Carolina & VÉLEZ RUIZ, Jorge Fernando.** “Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad”. *Research Gate* [en línea], 2012, (Mexico), vol. 6-2 págs. página 3-10. [Consulta: 14 abril 2024]. Número ISSN. 131-138 Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/303959697\\_Quesos\\_frescos\\_propiedades\\_metodos\\_de\\_determinacion\\_y\\_factores\\_que\\_afectan\\_su\\_calidad?enrichId=rgreq-bbbfceebed1bf6ca45a86207e4bd717a7-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzk1OTY5NztBUzozNzI4OTM5NjkwNzYyMjMjRAMTQ2NTkxNjI1ODAxMA%3D%3D&el=1\\_x\\_3&esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/303959697_Quesos_frescos_propiedades_metodos_de_determinacion_y_factores_que_afectan_su_calidad?enrichId=rgreq-bbbfceebed1bf6ca45a86207e4bd717a7-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzk1OTY5NztBUzozNzI4OTM5NjkwNzYyMjMjRAMTQ2NTkxNjI1ODAxMA%3D%3D&el=1_x_3&esc=publicationCoverPdf)
29. **REXNORD.** *Drive and Conveyor Chains Catalog.* [blog]. (2015). [Consulta: 15 junio 2024]. Disponible en: <https://www.rexnord.it/es/configuratore.php>

30. **RUIZ, Felix.** *Sistema de control de lazo cerrado.* [blog]. (2019). [Consulta: 16 abril 2024]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Sistema-de-control-de-lazo-cerrado\\_fig3\\_334771046](https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Sistema-de-control-de-lazo-cerrado_fig3_334771046)
31. **VERGARA TENISI, Carla Andrea.** Evaluación técnico-económica para la implementación de una planta de ensamblaje de motorreductores. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Escuela de Ingeniería Industrial. Santiago de Chile. 2009 págs. 32-40. [Consulta: 2024-04-18]. Disponible en: [https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/vergara\\_c/sources/vergara\\_c.pdf](https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/vergara_c/sources/vergara_c.pdf)
32. **VESSI, Nubia.** *¿Cuáles son lenguajes de programación en PLC's? InnoAdap Technology.* [blog]. (2021). [Consulta: 19 abril 2024]. Disponible en: <https://innoadap.com/cuales-son-lenguajes-de-programacion-en-plcs/>
33. **YLM GROUP.** *Máquina dobladora de tubos de una sola curva—Dobladora de tubos NC, Máquina dobladora de tubos hidráulica NC, Fabricante de máquinas robóticas de tubos de metal. YLM Group.* [blog]. (2024). [Consulta: 24 mayo 2024]. Disponible en: [https://www.ylm.com.tw/es/product/YLM\\_NC44TSQ.html](https://www.ylm.com.tw/es/product/YLM_NC44TSQ.html)
34. **SÁNCHEZ ZUMBA, Andrea Elizabeth.** Elaboración de un manual de operaciones para el proceso de fabricación de queso fresco de calidad en la empresa AYCHAPICHO AGRO'S S.A. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Quito-Ecuador. 2015 págs. 29-50. [Consulta: 2024-04-14]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10471/1/CD-6193.pdf>



## ANEXOS

### ANEXO A: RESISTENCIA A TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO ASTM A36

Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

#### 746 Apéndice B. Propiedades típicas de materiales seleccionados usados en ingeniería<sup>1,5</sup> (Unidades utilizadas en Estados Unidos)

Material	Peso específico lb/in. <sup>3</sup>	Resistencia última			Cedencia <sup>3</sup>		Módulo de elasticidad, 10 <sup>6</sup> psi	Módulo de rigidez, 10 <sup>6</sup> psi	Coeficiente de expansión, 10 <sup>-6</sup> /°F	Ductilidad, porcentaje de elongación en 2 in.
		Tensión, ksi	Compresión, <sup>2</sup> ksi	Cor-tante, ksi	Tensión, ksi	Cor-tante, ksi				
Acero										
Estructural (ASTM-A36)	0.284	58			36	21	29	11.2	6.5	21
Alta resistencia-baja aleación										
ASTM-A709 Grado 50	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
ASTM-A913 Grado 65	0.284	80			65		29	11.2	6.5	17
ASTM-A992 Grado 50	0.284	65			50		29	11.2	6.5	21
Templado										
ASTM-A709 Grado 100	0.284	110			100		29	11.2	6.5	18

### ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN DE MÁQUINA DOBLADORA DE PLATINAS AUTOMÁTICA

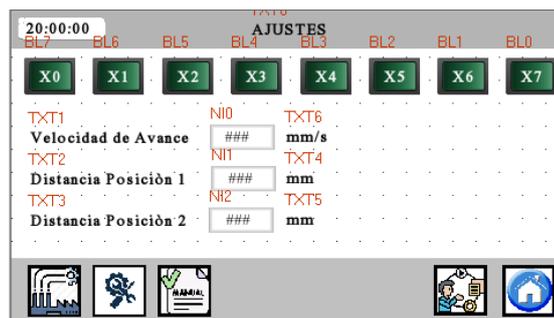
#### Manual de usuario

#### Dobladora de platinas automática

La dobladora de platinas cuenta con una capacidad de doblez dependiendo de la velocidad de sesteo del motor paso a paso que va desde 10 mm/s a 100mm/s. Cuenta con una interfaz capaz de brindar la capacidad de introducir medidas, velocidad deseada y de realizar pruebas de actuadores.

#### 1. Interfaz HMI

##### 1.a. Seteo de medidas y velocidad



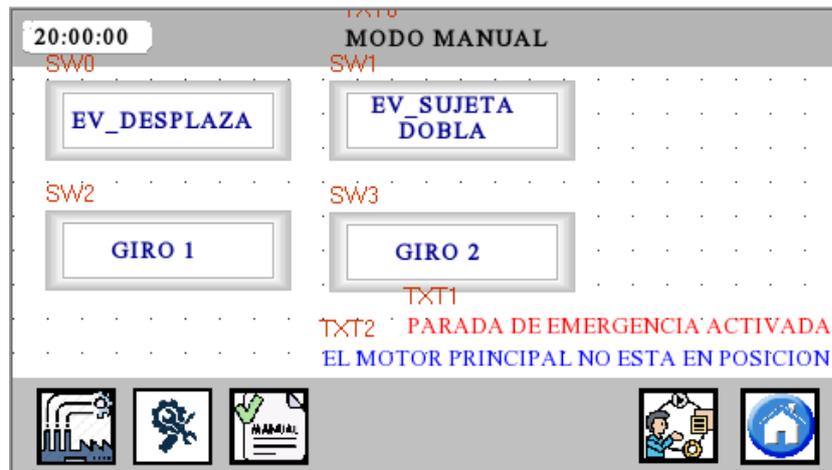
Se cuenta con 3 datos a ingresar:

Velocidad de Avance: Introducir velocidades entre 10 mm/s a 100 mm/s.

Distancia Posición 1: Medida referente al lado largo del molde queso

Distancia Posición 2: Medida referente al lado pequeño del molde de queso

## 1.b. Forma manual



En la forma manual se puede realizar pruebas de funcionamiento de los actuadores, pero además de realizar dobleces con medidas y ángulos definidos por el usuario.

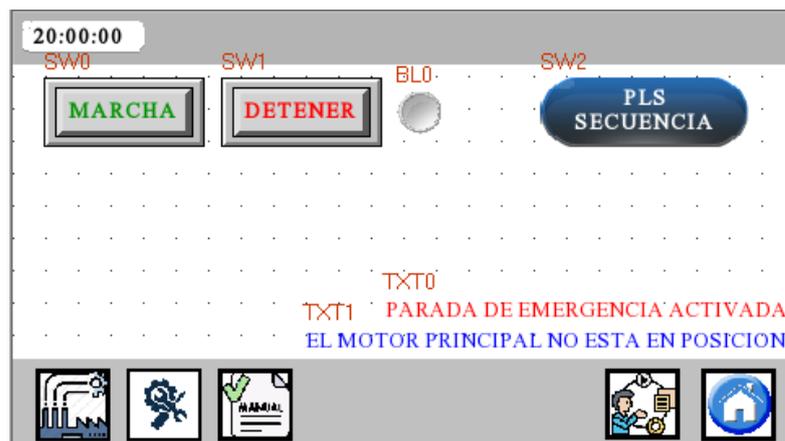
EV\_Desplaza: Sirve para desplazar la pinza de sujeción mediante el motor paso a paso.

EV\_Sujeción: Activa el mecanismo de sujeción.

Giro 1: Activa el motor para realizar el doblez.

Giro 2: Regresa el motor a su posición inicial.

## 1.c. Puesta en marcha



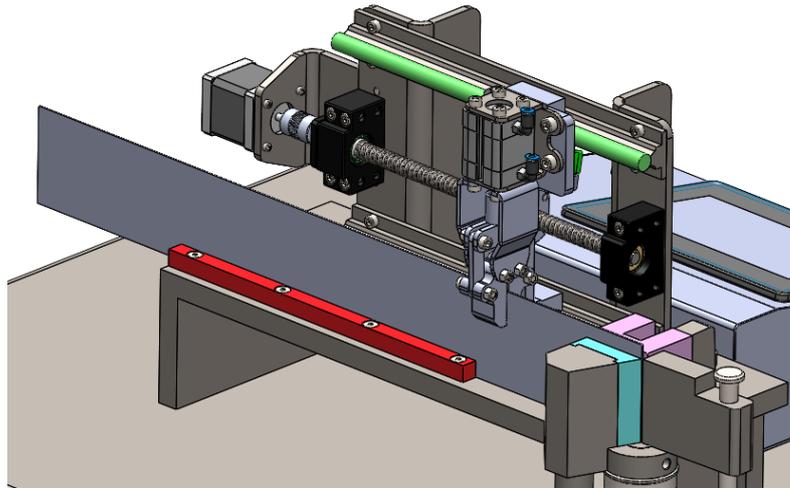
Una vez que la platina se encuentre en posición véase apartado **2. Posicionamiento de platina**, se debe realizar la siguiente secuencia de puesta en marcha.

- a. Aplastar botón marcha: Permite que todos los actuadores se coloquen en su posición inicial.

- b. Indicador de luz: Verificar que el indicador lumínico se encienda, esto da a conocer que todos los actuadores se encuentran listos para realizar el proceso de doblez.
- c. PLS Secuencia: Una vez verificado el indicador se procede a accionar el botón PLS Secuencia lo que permite inicial con el proceso de doblez.

## 2. Posicionamiento de platina

Para realizar el posicionamiento de la platina se debe considerar lo siguiente:



- 2.a. La platina debe estar colocada su filo con el final de la muela de sujeción. Este punto se considerará el punto 0.
- 2.b. Verificar que la platina se encuentre dentro de las guías de desplazamiento.
- 2.c. Verificar que la platina se encuentre dentro de la pinza de sujeción.

**ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINA DOBLADORA DE PLATINAS AUTOMÁTICA**

	<b>PLAN DE MANTENIMIENTO</b>	Nº 01	<b>Producto:</b> DOBLADORA DE PLATINAS DE ACERO INOXIDABLE	Página 1/1
<b>FUNCIÓN</b>	Realizar las actividades de manera rigurosa y minuciosa para garantizar el correcto funcionamiento y alargar la vida útil de la máquina			
<b>ORDEN DIARIA DE MANTENIMIENTO</b>				
<b>Actividad programada</b>				<b>Personal</b>
Inspección visual del estado de la máquina				Operador
Inspección visual del estado las mangueras del sistema neumático de alimentación				Operador
Inspección visual del sistema de transmisión de potencia				Operador
Inspección visual del cableado del tablero de control y conexiones				Operador
<b>ORDEN MENSUAL DE MANTENIMIENTO</b>				
<b>Actividad programada</b>				<b>Personal</b>
Inspección y ajuste de las uniones emperradas				Técnico de taller
Revisión de los filtros de aire				Técnico de taller
Engrasar el sistema de transmisión de potencia				Técnico de taller
Revisar la unión flexible entre el motor paso a paso y el tornillo de bolas				Operador
<b>ORDEN ANUAL DE MANTENIMIENTO</b>				
<b>Actividad programada</b>				<b>Personal</b>
Cambio rodamientos después de las 16000 horas				Técnico de taller
Limpieza o cambio del filtro de aire cada 2000 horas				Técnico de taller
Recalibración de componentes si amerita el caso				Técnico de taller
Cambio de cadena				Técnico de taller
Cambio de cables en mal estado del tablero de control				Técnico de control

## ANEXO D: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y FLUENCIA ACERO INOXIDABLE 304

### Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304

**Tabla A-22**

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales\*. Fuente: J. Dusko, "Solid Materials," capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Brown, Jr. (editores en jefe), *Standard Handbook of Machine Design* 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					
			Fluencia $S_y$	Última $S_u$	A la fractura, $\sigma_f$	Coefficiente $\sigma_0$	Resistencia a la deformación, exponente $m$	Resistencia a la fractura $\sigma_f$
			MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)		
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>†</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>†</sup>	992 (144)	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>†</sup>	758 (110)	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) <sup>†</sup>	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255) <sup>†</sup>	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) <sup>†</sup>	1410 (205)	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) <sup>†</sup>	1270 (185)	0.45	1.67
2011	Alación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>†</sup>	620 (90)	0.28	0.10
2024	Alación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) <sup>†</sup>	689 (100)	0.15	0.18
7075	Aluminio aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) <sup>†</sup>	882 (128)	0.13	0.18

\* Los valores se tomaron de una o dos coladas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

<sup>†</sup> Valor derivado.



Para asegurar la hermeticidad, están dotados de detalles importantes como presiones de cable antidesgarre y la combinación de cojinetes blindados y aceiteera en ambos lados del motor

La caja de conexiones está predispuesta para invertir fácilmente la posición del presor del cable

La caja de conexiones puede girar sobre el 60°

Para protegerlos del óxido, los motores son barnizados de color plata RAL 9008 con procedimiento de secado en horno

Con la intención de sobresalir en las prestaciones, las láminas no son de un hierro común Fe P01, sino magnéticas FeV, ello permite garantizar elevados rendimientos, menor recalentamiento, ahorro energético y una duración superior de los materiales aislantes.

Muy gruesa y hecha de un material plástico especial, la tapa del ventilador es

- resistente a los impactos
- absorbente de ruido
- anti-arañazos
- a prueba de oxidación

Hasta el tipo 1G2 inclusive, los pies son móviles y pueden ser fijados en 3 lados de la caja, permitiendo de posicionar arriba, a la derecha o a la izquierda la caja de borne.

### TECHNICAL CHARACTERISTICS

Lubrication is already provided by motive with long-life synthetic oil up to size BOX90, and with mineral oil from size BOX110.

The gear unit is equipped with a full set of filler, level and breather plugs, permitting all mounting positions and facilitating the management of the stock.

In order to increase silence, efficiency and duration, the wormshaft is made in case hardened steel and ground machined, while the worm wheel is in shell cast ZCuSn12 bronze.

The standard worm wheel hub is in spheroidal cast iron, an alloy that offers superior performance to grey cast iron and is suited also to heavy-

Made in an aluminum frame from size BOX30 to size BOX90, and in cast-iron from size BOX110 to size BOX150

An epoxy paint coat cancels the negative effects of the aluminium porosity and protects the housing from oxidation.

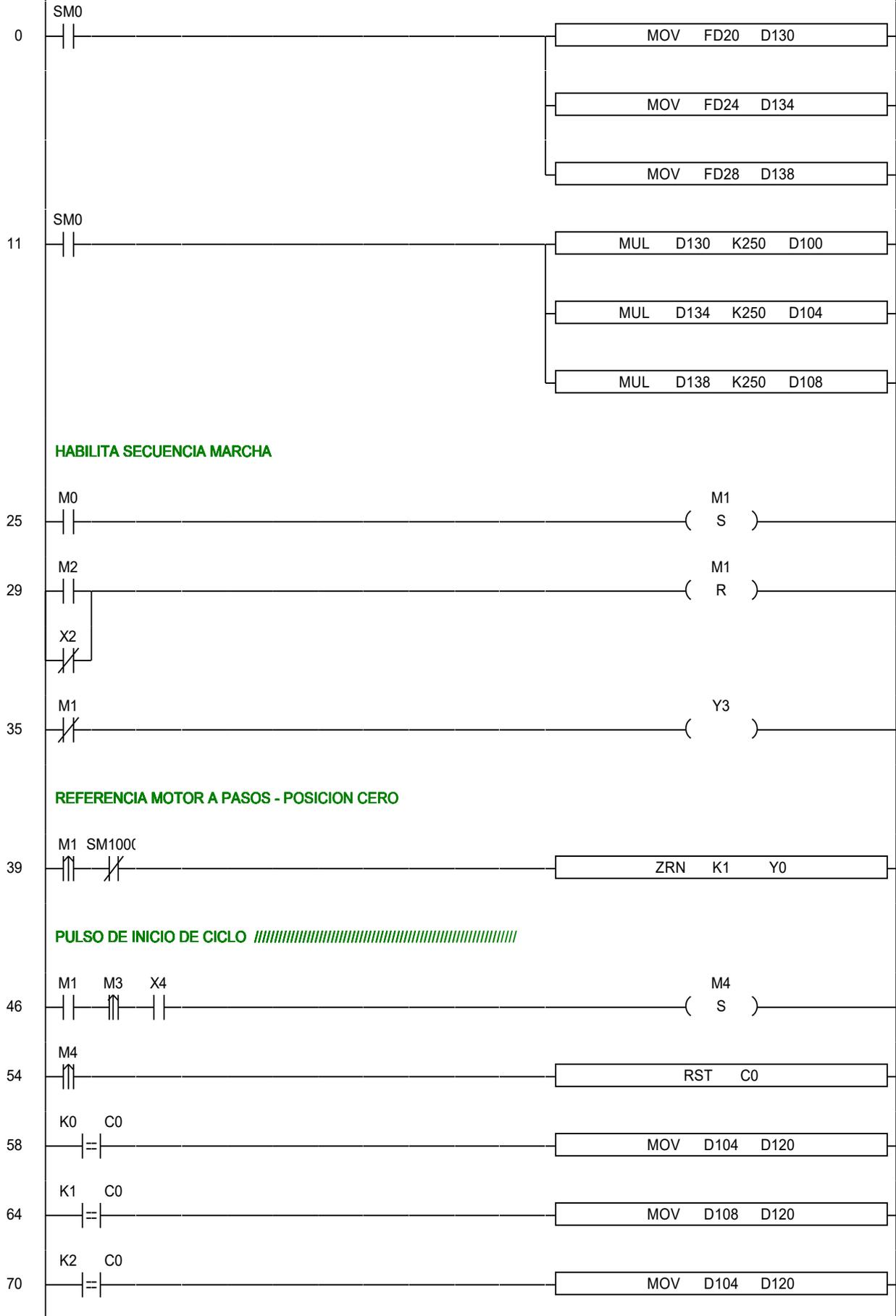
2 safety plastic covers on the output are always provided to protect BOX during transportation and storage, and then the user from accidental contacts with moving parts

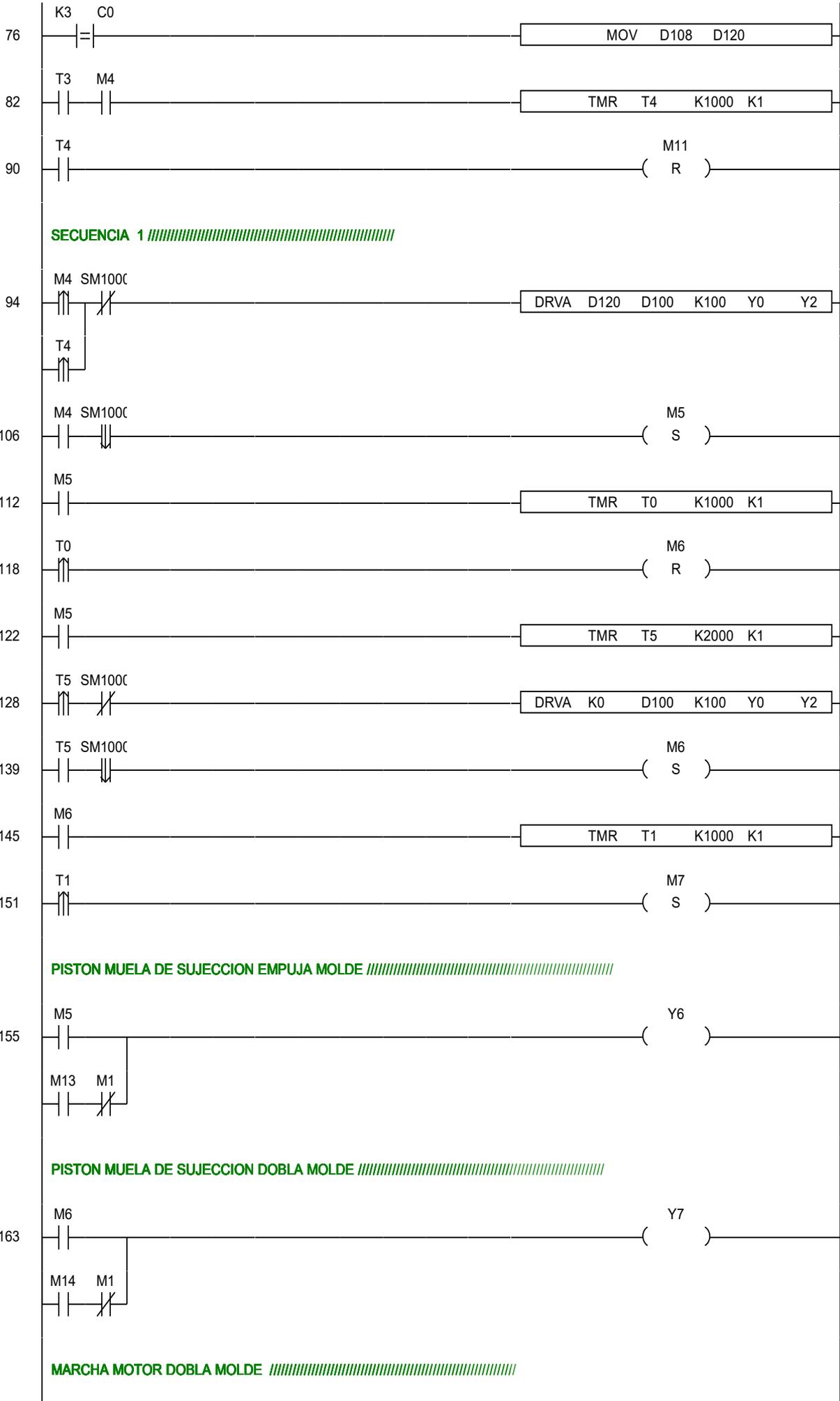
Mating surfaces are machined for a perfect planarity.

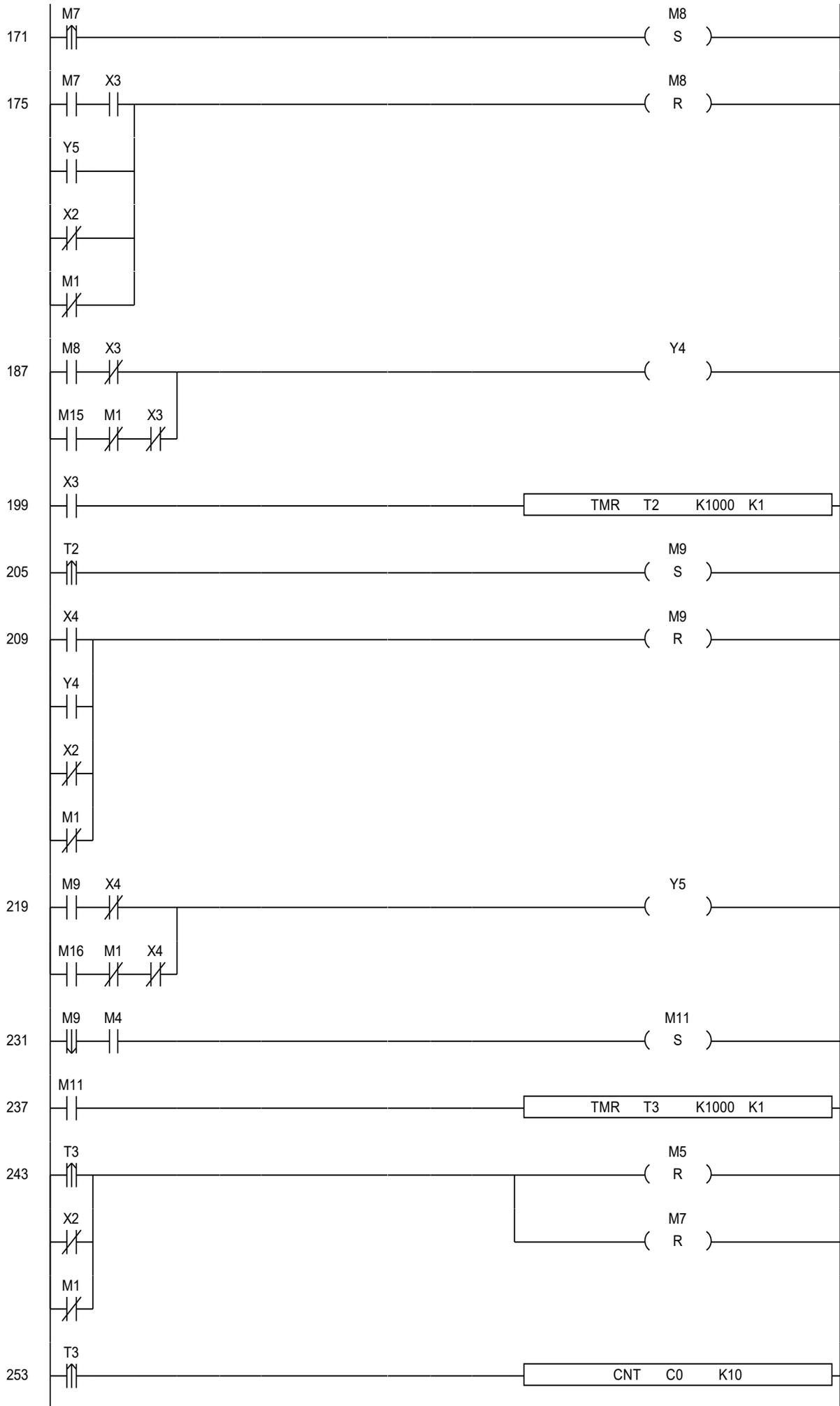
## ANEXO H: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

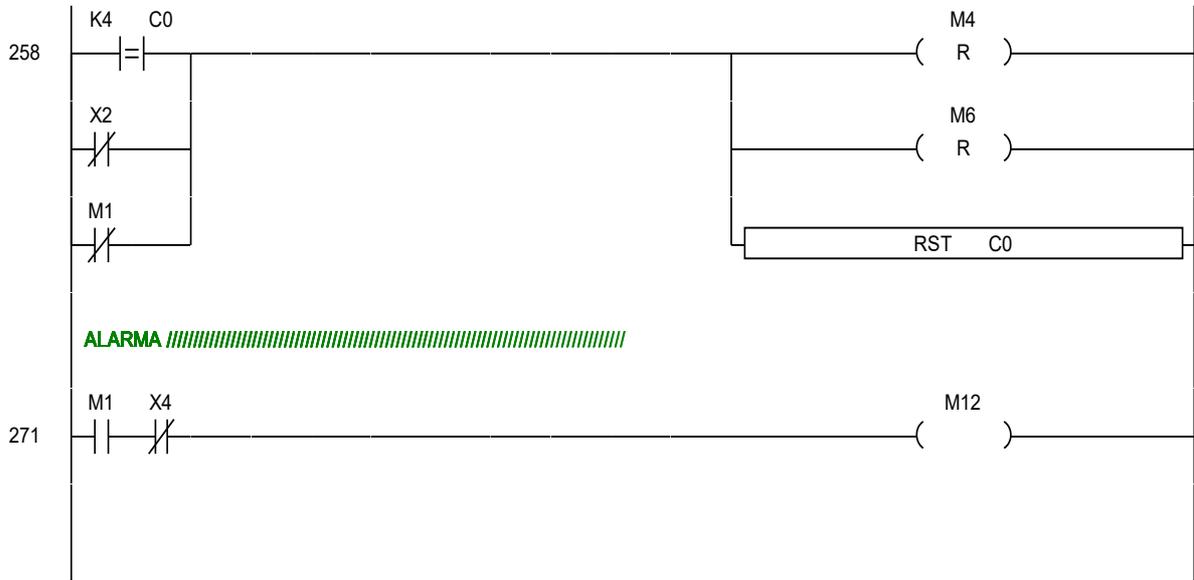
PROGRAMA PLC

AUTOR: DIAZ A\_PRUNA D

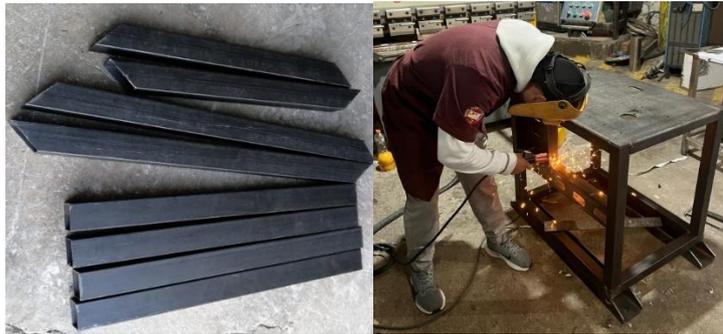








**ANEXO I: REGISTRO FOTOGRAFICO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DOBLADORA DE PLATINAS**



## **ANEXO L: PLANIMETRÍA**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

Fecha de entrega: 28/11/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
Nombres – Apellidos: Alex Fabricio Díaz Barahona Dimar Neptali Pruna Jácome
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
Facultad: Mecánica
Carrera: Mecánica
Título a optar: Ingeniero Mecánico
 Ing. María Verónica Albuja Landi, Mgtr. <b>DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>
 Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba, Mgtr. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>