



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
SEMIAUTOMÁTICA DE SERIGRAFÍA PARA PIEZAS
CILÍNDRICAS Y CÓNICAS ENTRE 20MM A 200MM**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

BRYAN FERNANDO RIVERA OÑA

JOSÉ DAVID UZHCA MEJIA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
SEMIAUTOMÁTICA DE SERIGRAFÍA PARA PIEZAS
CILÍNDRICAS Y CÓNICAS ENTRE 20MM A 200MM**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: BRYAN FERNANDO RIVERA OÑA

JOSÉ DAVID UZHCA MEJIA

DIRECTOR: ING. SANTIAGO ALEJANDRO LÓPEZ ORTIZ

Riobamba – Ecuador

2024

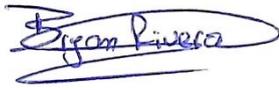
©2024, Bryan Fernando Rivera Oña y José David Uzhca Mejía

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

Nosotros, Bryan Fernando Rivera Oña y José David Uzhca Mejía, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este 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, 25 de junio 2024.



Bryan Fernando Rivera Oña

1718263971

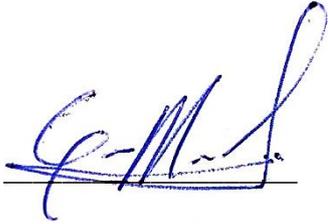


José David Uzhca Mejía

0107084550

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 Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DE SERIGRAFÍA PARA PIEZAS CILÍNDRICAS Y CÓNICAS ENTRE 20MM A 200MM**”, realizado por los señores: **BRYAN FERNANDO RIVERA OÑA** y **JOSÉ DAVID UZHCA MEJIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud que el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-06-25
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-25
Ing. Gabriel Vinicio Moreano Sánchez ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-25

DEDICATORIA

Las horas de estudio, los minutos de sacrificio y los segundos de constancia los dedico a mis padres Luis y Ximena, sin ellos nada de mi formación tanto humana como profesional sería posible. A mis hermanas Joselyn y Karen, mi abuela y tíos que tantos años estuvieron a mi lado, esto es para todos ustedes. Para mis amigos, tanto en Quito, Ambato y Riobamba, pasamos tantas cosas juntos, sé que un día todos estaremos festejando grandes logros. Finalmente, agradecer a una fuente de inspiración, Kelly, su constante apoyo, amor y comprensión fueron fundamentales en todos estos años. A todos ustedes, los quiero profundamente.

Bryan

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quienes dieron la oportunidad de formar a un nuevo profesional, capaz de ayudar a la sociedad y representar con honor esta extraordinaria institución. A los docentes de la Carrera Mecánica, a quienes de verdad tienen la vocación de enseñar y quienes inspiran a sus estudiantes a seguir formándose. A mis amigos, que aportaron a que este trabajo pueda ser posible.

Bryan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
RESUMEN.....	XVII
SUMMARY.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.3.1 <i>Justificación técnica</i>	3
1.3.2 <i>Justificación económica</i>	4
1.3.3 <i>Justificación social</i>	4
1.4 Alcance.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Reseña histórica de la serigrafía.....	6
2.2 Descripción del proceso de serigrafía.....	6
2.3 Descripción general de una máquina de serigrafía.....	8
2.4 Tipos de máquinas de serigrafía.....	8
2.4.1 <i>Máquina de serigrafía manual</i>	8
2.4.2 <i>Máquina de serigrafía automática</i>	10
2.4.3 <i>Máquina de serigrafía semiautomática</i>	12
2.5 Elementos clave para el proceso de serigrafiado.....	13
2.5.1 <i>Marco o Bastidor</i>	13

2.5.2	<i>Malla de Serigrafía</i>	14
2.5.3	<i>Racleta</i>	16
2.5.4	<i>Tablero de Impresión</i>	17
2.5.5	<i>Pintura</i>	17
2.6	Metodologías de diseño	17
2.6.1	<i>Norma VDI 2221</i>	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1	Lista de exigencias	19
3.2	Estructura de funciones	21
3.2.1	<i>Descripción de funciones</i>	22
3.2.2	<i>Secuencia de funciones</i>	23
3.2.3	<i>Estructura de funciones</i>	24
3.2.4	<i>Matriz Morfológica</i>	24
3.2.5	<i>Concepto de solución óptimo</i>	26
3.2.5.1	<i>Alternativa 1</i>	26
3.2.5.2	<i>Alternativa 2</i>	27
3.2.5.3	<i>Alternativa 3</i>	28
3.2.5.4	<i>Alternativa 4</i>	29
3.2.5.5	<i>Evaluación técnica</i>	30
3.2.5.6	<i>Evaluación económica</i>	31
3.2.5.7	<i>Resultados de la prueba técnica-económica</i>	33
3.3	Diseño conceptual	33
3.3.1	<i>Modelado 3D</i>	33
3.3.2	<i>Características principales</i>	34
3.3.3	<i>Selección del material</i>	34
3.3.4	<i>Carrera de serigrafiado</i>	35
3.3.4.1	<i>Desplazamiento de yugo escoces</i>	35
3.3.4.2	<i>Dimensionamiento de leva</i>	36
3.3.4.3	<i>Construcción de la leva</i>	43
3.3.5	<i>Análisis cinemático</i>	47
3.3.5.1	<i>Mecanismo leva</i>	48
3.3.5.2	<i>Mecanismo yugo escoces</i>	48
3.3.5.3	<i>Mecanismo Paralelogramo</i>	49

3.3.5.4	<i>Posiciones</i>	51
3.3.5.5	<i>Velocidades</i>	52
3.3.5.6	<i>Aceleraciones</i>	52
3.3.6	Análisis dinámico	53
3.3.6.1	<i>Eslabón BC de sujeción racle</i>	54
3.3.6.2	<i>Eslabón AB de unión eje 1 y 2</i>	55
3.3.6.3	<i>Eje 3</i>	56
3.3.6.4	<i>Eje 2</i>	56
3.3.6.5	<i>Eslabón EDH</i>	57
3.3.6.6	<i>Barra HC para seguidor de leva</i>	58
3.3.6.7	<i>Leva</i>	58
3.3.6.8	<i>Simulación dinámica</i>	60
3.3.7	Diseño estructural	68
3.3.7.1	<i>Diseño de eje a fatiga</i>	68
3.3.8	Diseño de eslabones mediante análisis CAE	75
3.3.9	Análisis CAE de la leva	86
3.3.10	Estructura exterior de la máquina	89
3.4	Diseño del Sistema de Control automático	95
3.4.1	<i>Selección del motor</i>	96
3.5	Selección de controlador	97
3.5.1	<i>Control de velocidad del actuador</i>	98
3.5.2	<i>Conexiones de funcionamiento</i>	99
3.5.3	<i>Control de movimiento del Motor</i>	101
3.5.4	<i>Funcionamiento</i>	102

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	107
4.1	Construcción de la máquina de serigrafía	107
4.1.1	<i>Proceso de construcción</i>	107
4.1.2	<i>Equipos y herramientas</i>	107
4.1.3	<i>Tiempos de construcción</i>	108
4.1.4	<i>Ensamblaje</i>	110
4.2	Pruebas del funcionamiento	111
4.2.1	<i>Pruebas de funcionamiento de la máquina de serigrafía</i>	111
4.2.1.1	<i>Pruebas de tiempo de serigrafiado</i>	111

4.2.1.2	<i>Evaluación del sistema de control</i>	114
4.2.1.3	<i>Respuesta al ajuste de velocidad</i>	114
4.2.1.4	<i>Resultado final de las pruebas de funcionamiento</i>	115
4.2.2	<i>Pruebas de calidad de la pieza final</i>	116
4.2.2.1	<i>Pruebas de apariencia visual</i>	116
4.2.2.2	<i>Pruebas de conservación de la pieza</i>	117
4.2.2.3	<i>Resultado final de las pruebas de calidad</i>	119
4.2.2.4	<i>Análisis de calidad mediante carta C</i>	120
4.3	Costos y mantenimiento	123
4.3.1	<i>Análisis de costos</i>	123
4.3.1.1	<i>Costos directos</i>	123
4.3.1.2	<i>Costos indirectos</i>	124
4.3.1.3	<i>Costo total</i>	125

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
5.1	Conclusiones	126
5.2	Recomendaciones	127

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Dimensiones recomendadas para el marco.....	14
Tabla 3-1: Lista de Exigencias propuesta por la empresa.....	19
Tabla 3-2: Matriz Morfológica.....	25
Tabla 3-3: Evaluación técnica del proyecto.....	31
Tabla 3-4: Evaluación económica del proyecto.....	31
Tabla 3-5: Resumen de evaluaciones técnicas y económicas	32
Tabla 3-6: Ciclos de la leva.....	36
Tabla 3-7: Ecuaciones de leva en movimiento armónico	37
Tabla 3-8: Ecuaciones de leva en movimiento cicloidal.....	39
Tabla 3-9: Factores de fricción en las juntas correspondientes.....	66
Tabla 3-10: Conexiones en cada eslabón	77
Tabla 3-11: Elementos con contacto Cylindrical Support	79
Tabla 3-12: Componentes del control de la máquina de Serigrafía.	101
Tabla 4-1: Equipos y herramientas necesarias en la construcción	108
Tabla 4-2: Tiempos de onstrucción de componentes de la máquina de serigrafía	109
Tabla 4-3: Tiempos de ensamblaje de los componentes de la máquina de serigrafía	110
Tabla 4-4: Pruebas de tiempo de serigrafiado	112
Tabla 4-5: Respuesta al ajuste de velocidad	114
Tabla 4-6: Resumen de pruebas de funcionamiento	115
Tabla 4-7: Pruebas de apariencia visual	116
Tabla 4-8: Pruebas de conservación de la pieza	118
Tabla 4-9: Ponderación general de las pruebas de calidad	119
Tabla 4-10: Datos para prueba de calidad mediante Carta C.....	120
Tabla 4-11: A-Costos de materiales	123
Tabla 4-12: B-Mano de obra	124
Tabla 4-13: C-Costos de equipos y herramientas	124
Tabla 4-14: Costos Directos.....	124
Tabla 4-15: Costos Indirectos.....	125
Tabla 4-16: Costos Totales.....	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Proceso de Serigrafía Manual.....	7
Ilustración 2-2: Máquina de Serigrafía Manual	9
Ilustración 2-3: Máquina de Serigrafía Automática.....	11
Ilustración 2-4: Máquina de Serigrafía Semiautomática.....	13
Ilustración 2-5: Dimensiones del marco para serigrafía.....	13
Ilustración 2-6: Dimensiones del marco para serigrafía.....	16
Ilustración 3-1: Caja Negra	22
Ilustración 3-2: Secuencia de funciones en ciclo de trabajo.....	23
Ilustración 3-3: Estructura de funciones	24
Ilustración 3-4: Diagrama de evaluación de alternativas de solución	33
Ilustración 3-5: Alternativa 1 de máquina de serigrafía.....	34
Ilustración 3-6: Matlab – Condiciones iniciales, incremento de iteraciones.	38
Ilustración 3-7: Matlab – Ciclo For en primera condición.....	39
Ilustración 3-8: Matlab – Ciclo For en segunda condición	39
Ilustración 3-9: Matlab: – Ciclo For en tercera condición	41
Ilustración 3-10: Matlab – Perfil de la leva	41
Ilustración 3-11: Matlab – Movimiento que genera la leva	42
Ilustración 3-12: Matlab – Velocidades en las posiciones angulares de leva	42
Ilustración 3-13: Matlab –Aceleraciones en las posiciones angulares de leva	43
Ilustración 3-14: Solidworks–Barra de herramientas, construcción de leva	43
Ilustración 3-15: Solidworks–Configuración de la leva.....	44
Ilustración 3-16: Solidworks–Configuración de movimientos.....	44
Ilustración 3-17: Solidworks–Condiciones de creación finales	45
Ilustración 3-18: Solidworks– Leva establecida	45
Ilustración 3-19: Solidworks– Generación de uniformidad de la leva	46
Ilustración 3-20: Solidworks– Leva final	46
Ilustración 3-21: Esquema mecanismo Leva-Seguidor y Yugo Escocés	47
Ilustración 3-22: Esquema Barra guía de la Leva y Mecanismo Paralelogramo	47
Ilustración 3-23: Diagrama Leva	48
Ilustración 3-24: Lazo de Mecanismo Leva.....	48
Ilustración 3-25: Diagrama Yugo Escocés	49
Ilustración 3-26: Lazo de Mecanismo Yugo Escocés.....	49
Ilustración 3-27: Lazo Mecanismo Paralelogramo	50

Ilustración 3-28: Barra EDH.....	50
Ilustración 3-29: Puntos más altos y bajos de la Leva	50
Ilustración 3-30: Matlab – Método Newton Rhapson.....	53
Ilustración 3-31: Esquema máquina para análisis dinámico	54
Ilustración 3-32: Diagrama de Cuerpo Libre eslabón BC.....	54
Ilustración 3-33: Diagrama De Cuerpo Libre eslabón AB.....	55
Ilustración 3-34: Diagrama de Cuerpo Libre Eje 3	56
Ilustración 3-35: Diagrama de Cuerpo Libre Eje 2	57
Ilustración 3-36: Diagrama de Cuerpo Eslabón EDH.....	57
Ilustración 3-37: Diagrama de Cuerpo Libre Barra HC	58
Ilustración 3-38: Diagrama de Cuerpo Libre Leva	59
Ilustración 3-39: Matlab - Diagrama de torque en Leva	60
Ilustración 3-40: Asignación de materiales a los elementos	61
Ilustración 3-41: Modulo de simulación dinámica.....	61
Ilustración 3-42: Juntas generadas por el Inventor	62
Ilustración 3-43: Juntas generadas por el Inventor	62
Ilustración 3-44: Factor de fricción en la junta 17	63
Ilustración 3-45: Movimiento rotativo de la junta 11	63
Ilustración 3-46: Velocidad de giro de la Leva.....	64
Ilustración 3-47: Junta de Leva – Seguidor	64
Ilustración 3-48: Factor de fricción en Leva- Seguidor	65
Ilustración 3-49: Junta de Cilindro Plane.....	65
Ilustración 3-50: Momento en junta 11.....	66
Ilustración 3-51: Grafica momento vs tiempo en junta 11	67
Ilustración 3-52: Tabla de momento máximo.	67
Ilustración 3-53: Fuerzas normales en el Eje 3	68
Ilustración 3-54: Posición 1 de la malla por Yugo Escocés	69
Ilustración 3-55: Posición 2 de la malla por Yugo Escocés	69
Ilustración 3-56: Posición 3 de la malla por Yugo Escocés	70
Ilustración 3-57: Eje 3 sometido a fuerzas puntuales en la posición 1	70
Ilustración 3-58: Diagrama de fuerzas cortantes en la posición 1	71
Ilustración 3-59: Diagrama de momentos flectores en la posición 1.....	71
Ilustración 3-60: Eje 3 Sometido a fuerzas puntuales en la posición 2	71
Ilustración 3-61: Diagrama de Fuerzas Cortantes en la posición 2	72
Ilustración 3-62: Diagrama de Momentos Flectores en la posición 2	72
Ilustración 3-63: Eje 3 Sometido a Fuerzas Puntuales en la posición 3	72

Ilustración 3-64: Diagrama de Fuerzas Cortantes en la posición 3	73
Ilustración 3-65: Diagrama de Momentos Flectores en la posición 2	73
Ilustración 3-66: Ansys - Calidad de Malla	76
Ilustración 3-67: Contacto “No Separation”	76
Ilustración 3-68: Ansys - No Separation 1.....	76
Ilustración 3-69: Contacto “Bonded” del Ansys.....	77
Ilustración 3-70: Ansys – Bonded 1	77
Ilustración 3-71: Ansys – Beam 1	78
Ilustración 3-72: Ansys – Beam 2	78
Ilustración 3-73: Ansys - Cylindrical Support 5	78
Ilustración 3-74: Ansys - Displacement.....	79
Ilustración 3-75: Ansys – Fuerza Sujetador 1	80
Ilustración 3-76: Ansys - Fuerza Sujetador 2.....	80
Ilustración 3-77: Ansys - Fuerza de Impresión.....	80
Ilustración 3-78: Ansys – Restricciones del sistema.....	81
Ilustración 3-79: Ansys – Deformación en 6mm de espesor.....	81
Ilustración 3-80: Ansys – Factor de seguridad en 6mm de espesor	82
Ilustración 3-81: Ansys – Singularidades en factor de seguridad	82
Ilustración 3-82: Ansys – Deformación en 3mm de espesor.....	83
Ilustración 3-83: Ansys – Factor de seguridad en 3mm de espesor	83
Ilustración 3-84: Ansys – Singularidades en factor de seguridad	83
Ilustración 3-85: Ansys – Puntos de singularidades	84
Ilustración 3-86: Ansys – Pasador de unión al elemento crítico	84
Ilustración 3-87: Ansys – Cargas del pasador.....	84
Ilustración 3-88: Ansys – Calidad de malla del elemento a sufrir pandeo	85
Ilustración 3-89: Ansys – Condiciones para el análisis de pandeo.....	85
Ilustración 3-90: Ansys – Carga crítica de pandeo	86
Ilustración 3-91: Matlab – Variación De la fuerza en el extremo del seguidor.....	87
Ilustración 3-92: Ansys – Calidad de mallado en estudio de Leva	87
Ilustración 3-93: Ansys – Deformación total del mecanismo Leva	88
Ilustración 3-94: Ansys – Factor de seguridad del mecanismo Leva	88
Ilustración 3-95: Ansys – Torque requerido en el mecanismo mediante análisis CAE.....	89
Ilustración 3-96: Ansys – Designación de materiales	90
Ilustración 3-97: Ansys – Designación de contactos bonded en la estructura exterior.....	90
Ilustración 3-98: Ansys – Calidad de malla de estructura exterior.....	91
Ilustración 3-99: Ansys – Aplicación de cargas en vigas.....	91

Ilustración 3-100: Ansys – Diagrama de Cuerpo Libre del eslabón PO.....	92
Ilustración 3-101: Matlab – Fuerzas resultantes del análisis dinámico	92
Ilustración 3-102: Diagrama de Cuerpo Libre del eslabón MN	92
Ilustración 3-103: Ansys – Esfuerzos de Von Misses en la estructura exterior.....	94
Ilustración 3-104: Ansys – Factor de seguridad de la estructura exterior	94
Ilustración 3-105: Ansys – Reacciones de la estructura exterior	95
Ilustración 3-106: Tablero del sistema de control automático.	96
Ilustración 3-107: Modelos de motores NEMA.....	96
Ilustración 3-108: Motor a pasos NEMA 34.....	97
Ilustración 3-109: Modelo de controlador LOGO 6ED1052-1MD08-0BA1	97
Ilustración 3-110: Data Sheet del controlador LOGO 6ED1052-1MD08-0BA1	98
Ilustración 3-111: Lazo de control del sistema (Ciclo Cerrado)	98
Ilustración 3-112: Conexión básica del driver DM860H.....	99
Ilustración 3-113: Salidas del controlador del motor a pasos.....	99
Ilustración 3-114: Adaptación de intensidad requerida en DM860H.....	100
Ilustración 3-115: Configuración de Pulse/Rev en DM860H	100
Ilustración 3-116: Diagrama de bloques del control del motor.....	101
Ilustración 3-117: Cade Simu - Diagrama del sistema de control del motor NEMA	102
Ilustración 3-118: Cade Simu - Diagrama de conexión del control del motor en posición neutral alimentada.	103
Ilustración 3-119: Cade Simu - Diagrama de activación de control de la máquina.....	103
Ilustración 3-120: Logo Soft Comfort – Programación por bloques de activación	103
Ilustración 3-121: Cade Simu – Selector de modo de funcionamiento de máquina	104
Ilustración 3-122: Logo Soft Comfort – Programación del motor por pulsaciones.....	104
Ilustración 3-123: Logo Soft Comfort - Programación por bloques de giro completo.....	104
Ilustración 3-124: Logo Soft Comfort - Programación por bloques de giro automático.	105
Ilustración 3-125: Logo Soft Comfort - Programación y mensaje de activación del sistema de seguridad paro de emergencia.	105
Ilustración 3-126: Logo Soft Comfort - Programación y mensaje de activación del sistema conteo de productos.....	106
Ilustración 3-127: Logo Soft Comfort - Programación y mensaje de activación del sistema conteo de productos.....	106
Ilustración 4-1: Procesos general de la construcción de la máquina de serigrafía.....	107
Ilustración 4-2: Diagrama de ensamblaje de la máquina de serigrafía.....	110
Ilustración 4-3: Parámetros del producto.....	112
Ilustración 4-4: Fases de la prueba de tiempo de serigrafado	112

Ilustración 4-5: Evaluación de la apariencia visual de las piezas serigrafiadas.....	117
Ilustración 4-6: Evaluación de la conservación de las piezas serigrafiadas	119
Ilustración 4-7: Ponderación general de las pruebas de calidad.....	120
Ilustración 4-8: Gráfica C de defectos en piezas serigrafiadas.....	122

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SELECCIÓN DE BLOQUE PARA GUÍA DE MOVIMIENTO.
- ANEXO B:** SELECCIÓN DE BLOQUE LINEA PARA SUJECCIÓN DE YUGO.
- ANEXO C:** SELECCIÓN DE RODAMIENTO PHS10 PARA EJE DE SUBIDA.
- ANEXO D:** SELECCIÓN DE MOTOR NEMA 34 DE 8.5 Nm.
- ANEXO E:** SELECCIÓN DRIVER DM860H PARA NEMA 34.
- ANEXO F:** SELECCIÓN DE FUENTE CONMUTADA DE 24 V.
- ANEXO G:** SELECCIÓN DE TUBO ESTRUCTURADO CUADRADO PARA LA BASE.
- ANEXO H:** SELECCIÓN DE EJE LISO PARA LA TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.
- ANEXO I:** REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE CONTRUCCIÓN.
- ANEXO J:** CORTE DE PLANCHA PARA ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.
- ANEXO K:** CONSTRUCCIÓN DE BASE ESTRUCTURAL DE LA MÁQUINA DE SERIGRAFÍA.
- ANEXO L:** CORTE DE PIEZAS EN CORTE LÁSER DE METAL.
- ANEXO M:** CORTE EN PLANCHA DE LA LEVA.
- ANEXO N:** ENSAMBLE DE LOS MECANISMO DE LA MÁQUINA.
- ANEXO O:** CONSTRUCCIÓN DE TABLERO DE CONTROL AUTOMÁTICO.
- ANEXO P:** TORNEADO DE LA BASE PARA VASO TÉRMICO.
- ANEXO Q:** REVELADO DE LA MALLA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFÍA.
- ANEXO R:** PRUEBA DE MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA.
- ANEXO S:** PINTADO DE LA MÁQUINA.
- ANEXO T:** PRODUCTOS SERIGRAFIADOS.

RESUMEN

El sector publicitario en el país ha experimentado un incremento significativo en las últimas décadas, pues cada una de las empresas tratan de promocionarse con elementos llamativos, pero existe un problema en la cantidad de productos serigrafiados por la demanda en la producción y la fatiga laboral que puede ocasionar en los operarios de máquinas de serigrafía manual, así como de la utilización de personal adicional para el proceso. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue el diseño y la construcción de una máquina de serigrafía semiautomática para objetos cilíndricos y cónicos que mejore el proceso de serigrafiado tanto en el total de producción, reducción de operarios adicionales y precisión. La metodología utilizada en la investigación se basó en la norma alemana VDI 2221 que muestra un enfoque sistemático empleado a la recepción de requerimientos y exigencias, así como de la elección de alternativa óptima tomando en cuenta aspectos económicos y teóricos, una vez elegida los elementos que cumplen las funciones inherentes del sistema se procedió a los análisis cinemáticos y dinámicos que comprobaron los recorridos de partes móviles con su respectiva rapidez. Como resultado del proyecto se logró construir e instalar la máquina de serigrafía con una alta capacidad de producción, llegando incluso a las 1000 piezas/h optimizando el tiempo y reduciendo los costos producción. En este marco se concluye que el mecanismo de serigrafiado logra solventar la demanda de productos asegurando la calidad de los productos finales, reduciendo la cantidad de personal a solamente un operario por máquina y contrarrestando problemas de fin ergonómico ocasionados por movimientos repetitivos.

Palabras clave: <MÁQUINA DE SERIGRAFÍA> <PIEZAS CÓNICAS> <PIEZAS CILÍNDRICAS>. <MECANISMO LEVA> <CONTROL DE CALIDAD> <MECANISMO YUGO ESOCÉS>.

1063-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

The advertising sector in the country has experienced a significant increase in recent decades as each company tries to promote itself with eye-catching elements. Still, there is a problem with the number of screen-printed products due to the demand in production and work fatigue that can cause manual screen-printing machine operators and the use of additional personnel for the process. Therefore, the research's objective was to design and construct a semi-automatic screen printing machine for cylindrical and conical objects that improves the screen printing process in total production, reduces additional operators, and improves precision. The methodology used in the research was based on the German standard VDI 2221, which shows a systematic approach used to receive requirements and demands, as well as the choice of optimal alternative taking into account economic and theoretical aspects, once the elements that fulfill the inherent functions of the system, kinematic and dynamic analyzes were carried out that verified the paths of moving parts with their respective speed. As a result of the project, it was possible to build and install the screen printing machine with a high production capacity, even reaching 1000 pieces/h, optimizing time and reducing production costs. In this framework, it is concluded that the screen printing mechanism manages to meet the demand for products by ensuring the quality of the final products, reducing the number of personnel to only one operator per machine, and counteracting ergonomic problems caused by repetitive movements.

Keywords: <SCREEN PRINTING MACHINE> <CONICAL PARTS> <CYLINDRICAL PARTS>. <CAM MECHANISM> <QUALITY CONTROL> <SCOTTISH YOKE MECHANISM>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

El diseño y construcción de una máquina semiautomática para piezas cilíndricas y cónicas es un recurso innovador en el ámbito publicitario, pues varias empresas generan publicidad mediante la exposición de su logotipo en varios tipos de productos que van desde ternos hasta vasos, así genera curiosidad en el usuario que desea probar su producto. La máquina entonces muestra una construcción simple con un mecanismo compuesto brinda la posibilidad de descartar actuadores que a fin de cuenta afecta económicamente la inversión de los productores de publicidad, puesto que una máquina importada representa tal vez un gasto fuera de su presupuesto actual.

Es en base a esto que la máquina de serigrafía semiautomática presenta una solución para los productores, tomando en cuenta la viabilidad del sistema pues este se compone de elementos rotativos complejos al tener una reducción de actuadores y mantener el movimiento de dos sistemas en simultáneo, Este sistema utiliza entonces un control automático que genera los pulsos de inicio, ciclos continuos y paros de emergencia para salvaguardar el sistema y garantizar la seguridad del operador, mediante el uso de un motor a pasos que genera el movimiento en los mecanismos yugo escocés y leva seguidor, este realiza la rotación con el torque necesario que permite el serigrafiado.

En conclusión, la investigación presenta un modelo de máquina de serigrafía económica y que permite reducir tiempos de producción, así como de la cantidad de operadores del proceso y con la precisión requerida para mantener un producto de calidad.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El origen de la serigrafía se remonta a miles de años, tuvo como respaldo histórico varias impresiones sobre prendas textiles en la cultura japonesa, china e inclusive fiyiano en donde la población estampaba dicha vestimenta con colorantes naturales especialmente de los derivados de hojas de plátanos, cabe mencionar que para determinar que se trata de una serigrafía como tal se considera la utilización de un molde previamente recortado y sobre el cual se ha esparcido el tinte natural. Otro de los posibles casos de serigrafía arcaica se deriva del antiguo Egipto cuando se observa que varias de las decoraciones y vasijas se ven pintadas con un molde preestablecido y que se ha mantenido a lo largo del tiempo inclusive en las pirámides. (Vázquez, 2012)

Actualmente, la industria textil y publicitaria desarrolló cambios en la técnica con invenciones como la utilización de: mallas metálicas de fina estructura y alta resistencia, tejido de poliéster, lacas especiales y películas; lo que ha permitido la perfección de la técnica tanto de manera manual, semiautomática y automática con una limitación en la cantidad de colores a emplear y que para suplirla se utiliza mecanismos más complejos tanto para control, automatización, el espacio empleado en la máquina y sobre todo el costo de serigrafiado con técnicas sofisticadas y a gran escala.

A nivel regional, una investigación llevada a cabo por (González, 2018) aborda el diseño de una máquina de serigrafía destinada a la identificación de ampollas en una droguería, considerando aspectos esenciales para la optimización del proceso en un entorno farmacéutico. Desde la selección de componentes mecánicos y neumáticos adecuados hasta la configuración integral del diseño estructural, mecánico, eléctrico y neumático de la máquina, la propuesta se presenta como un enfoque holístico. Incluye una detallada guía para la elección de personal capacitado en la operación serigráfica en superficies cilíndricas, un diagrama de flujo que sistematiza las etapas del proceso, y un manual de mantenimiento preventivo y correctivo que garantiza un funcionamiento óptimo. La viabilidad de esta alternativa queda respaldada mediante un análisis financiero que evidencia no solo la reducción del tiempo en el proceso, sino también una significativa disminución en los costos totales de la elaboración de ampollas, estableciendo así una sólida base para la implementación exitosa de la tecnología propuesta.

En la actualidad, los sistemas automatizados, compuestos por sensores, sistemas de control y actuadores, han demostrado ser clave en la mejora de la eficiencia en las empresas al eliminar la intervención humana. El proyecto presentado por (Chicaiza, 2019) se centra en la construcción de un sistema de serigrafía que utiliza tecnologías como Arduino Uno y un Relé programable Zelio para analizar señales de sensores y ejecutar acciones sobre actuadores. La máquina se propone desplazar objetos mediante un cilindro neumático hacia una banda transportadora, donde un motor de corriente continua controla su movimiento, estableciendo así un sistema automatizado para mejorar la eficiencia y calidad en el proceso de estampado y sellado.

La industria publicitaria en Ecuador implementa la técnica de serigrafía para la producción de productos visualmente atractivos para los consumidores. Sin embargo, muchas empresas aún optan por el método manual debido a que los costos de maquinaria industrializada oscilan entre \$2,000 y \$20,000, excluyendo los gastos de importación, que suelen representar un incremento del 12 al 30% sobre el valor original. Diversos estudios llevados a cabo en el país y resaltando a nivel local se han centrado en el diseño y la automatización de máquinas de serigrafía. Por ejemplo, la investigación de (Laguna y Loachamín, 2010) se enfoca en la construcción de una máquina de serigrafía para superficies planas con control automático, cuyo costo de fabricación asciende a \$2,018; este trabajo ha servido como punto de partida para otras investigaciones que emplean el mismo enfoque en superficies planas y que se pretende llevar a un nivel superior con la automatización en diferentes tipos de superficie de mayor complejidad.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente en la industria publicitaria del Ecuador existen máquinas de serigrafía que en su mayoría son manuales para la impresión de objetos cilíndricos, sin embargo este proceso tiene varias desventajas para la competitividad en el mercado, es decir, dependen mucho del operario por consecuencia la calidad de impresión, la cantidad de impresiones los errores de producción que se dan en la jornada de trabajo son bajas puesto que esto depende mucho de la habilidad, velocidad estado físico y mental del operario donde se tiene tiempos muertos, dudas en la calidad, paros en la producción, es por eso que se desea diseñar y construir una máquina de serigrafía semi automática para solucionar los problemas planteados y que la empresa pueda cumplir con la demanda solicitada por parte de sus clientes.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación técnica

El método de serigrafiado utilizado por empresas no industrializadas representa una desventaja al momento de analizar la cantidad de unidades elaboradas y el tiempo empleado en hacerlas, por lo tanto, una máquina que sea capaz de sobrellevar grandes cantidades de producción y en menor tiempo gracias a subsistemas automatizados conlleva una alta productividad y beneficio económico. Por lo cual, el método semiautomático suple la necesidad de un nuevo operario como el utilizado en el proceso manual, además, se contribuye a la versatilidad de productos al producir el serigrafiado en productos no planos y que exploran otra forma de promocionar empresas o productos en el país, como por ejemplo la publicidad en vasos, tomatodos, botellas, recipientes cónicos, esferos.

El sistema neumático es el más adecuado para esta máquina, esto se debe a que en el proceso de impresión no se necesita grandes fuerzas para llegar al objetivo y dicho sistema tiene varias facilidades cuando vamos a automatizar este proceso.

1.3.2 Justificación económica

En la industria publicitaria del Ecuador el proceso de serigrafía es realizado por un artesano y está presente las limitaciones al tratarse de imprimir objetos cilíndricos en grandes cantidades, uno de las principales razones es el cargado e impresión de los objetos cilíndricos. con el diseño y construcción de la máquina de serigrafía existirá la oportunidad de remplazar el proceso artesanal por un proceso técnico y mejora la calidad de impresión y podrá optimizar el trabajo, subirá la producción y elevará el ingreso económico de la empresa.

1.3.3 Justificación social

La producción de productos con serigrafía con una máquina semiautomática pretende mejorar las condiciones de trabajo, puesto que al tener sistemas con control automático reduce la carga física del obrero y la fatiga por movimientos repetitivos. De igual forma la alta producción de productos permite la satisfacción al cliente y por ende el crecimiento de la demanda, con lo cual genera un crecimiento económico a la empresa, permitiendo la generación de empleo. Finalmente, se menciona la reducción de desperdicios al tener procesos con menor posibilidad de error y por ende de desecho del material, contribuyendo al cuidado medio ambiental.

1.4 Alcance

El proyecto contempla el diseño conceptual y de detalle de la máquina serigráfica, así como de la automatización de componentes como el avance de la raqueta, de los cilindros donde se sujetan los objetos a pintar y los pedales que determinan el accionamiento o no del mecanismo.

Adicionalmente estará diseñada con características de seguridad que también se contempla en el pedal de accionamiento para evitar derrames de pintura, accidentes, entre otros. Esta máquina pretende ayudar con la versatilidad de productos y tiempos de producción con el control de velocidades de posicionamiento de malla, desplazamiento de paleta y giro de cilindros, todo esto en base al diámetro del envase. Cabe mencionar que no contempla un control automático completo como el posicionamiento automático de envase, ni de pintura sobre la malla, si no que manualmente se contempla estos aspectos, permitiendo así el uso de un solo operario.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina semiautomática de serigrafía para piezas cilíndricas y cónicas de diámetro 20mm a 200mm.

1.5.2 Objetivos específicos

- Estudiar los mecanismos y sistemas de control que permitan realizar una serigrafía precisa y efectiva en distintos envases cónicos y tubulares.
- Simular los distintos mecanismos con la utilización de software para determinar los desplazamientos, velocidades y torque requerido.
- Seleccionar los materiales de construcción de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos para la construcción de la máquina de serigrafía junto con el sistema de control automático.
- Verificar el funcionamiento de la máquina de serigrafía mediante pruebas de impresión en los distintos cuerpos para garantizar la calidad del producto final.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Reseña histórica de la serigrafía

El origen de la serigrafía se remonta a miles de años, tuvo como respaldo histórico varias impresiones sobre prendas textiles en la cultura japonesa, china e inclusive filipino en donde la población estampaba dicha vestimenta con colorantes naturales especialmente de los derivados de hojas de plátanos, cabe mencionar que para determinar que se trata de una serigrafía como tal se considera la utilización de un molde previamente recortado y sobre el cual se ha esparcido el tinte natural. Otro de los posibles casos de serigrafía arcaica se deriva del antiguo Egipto cuando se observa que varias de las decoraciones y vasijas se ven pintadas con un molde preestablecido y que se ha mantenido a lo largo del tiempo inclusive en las pirámides. (Alarcón, 2017) El primer sistema de serigrafía "moderno" fue patentado en 1907 por un inglés llamado Samuel Simon, que utilizaba una plantilla dibujada sobre tela atornillada estirada sobre un marco de madera.

A lo largo de los años, la serigrafía ha evolucionado significativamente y la introducción de plantillas con imágenes fotográficas revolucionó la industria en la década de 1910. En la década de 1960, la serigrafía experimentó un auge en popularidad debido a su capacidad para imprimir gráficos atrevidos y memorables en carteles, carteles de protesta y ropa. (Palmetto Blended, 2023) Otra de las invenciones actuales es la elaboración de una especie de emulsión que ha sustituido al papel con goma y que ha conseguido mejores resultados en la impresión, esta técnica inclusive se empleó en la Segunda Guerra Mundial cuando se necesitaba marcar el material bélico a utilizarse en los conflictos. (Alarcón, 2017)

2.2 Descripción del proceso de serigrafía

La operatividad primordial de la serigrafía se fundamenta en la aplicación de tinta, caracterizada por su densidad específica que al momento de elegirla se debe prestar mucha importancia, la pintura se expande y ejerce presión mediante una espátula de goma denominada racleta. Este proceso se lleva a cabo al pasar la tinta a través de una malla, depositándola posteriormente sobre el sustrato. Cada sustrato se posiciona debajo del marco de impresión, se imprime y posteriormente se retira para permitir que la tinta seque, dependiendo del material de base, ya sea papel, plástico o metal. (Acuña, 2019)

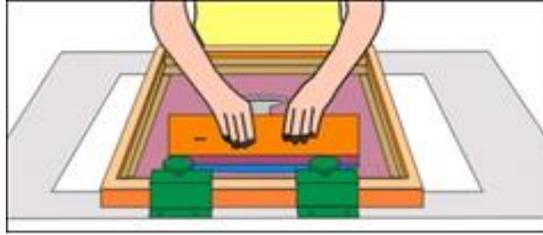


Ilustración 2-1: Proceso de serigrafía manual

Fuente: Acuña A., 2019

El proceso básico de impresión por serigrafía consta de cuatro etapas que pueden variar según la elección del usuario, en este apartado se exponen las fases generales de un proceso de serigrafiado de forma manual en su totalidad.

Diseño: La primera etapa establece un diseño predefinido por el usuario, este puede constituir cualquier figura o carácter, la dificultad depende de la precisión con la que se pueda hacer la película, así como de la existencia de más colores según la adaptación o no de un registro de pintura. A partir de este diseño, se crea una película que luego será utilizada para confeccionar la matriz por sobre la malla.

Películas: La película generada a partir del primer paso es la base para la construcción de la matriz. Actualmente, empresas con mayor cantidad de activos adaptan el método de corte láser para la precisión de esta y que se ajustará a una malla, esta última puede ser de nylon con marcos de diferentes materiales o a su vez de hilos metálicos, así se considera la resistencia según la demanda.

Preparación de la malla: Junto con la matriz establecida, esta se debe adaptar a la pieza a serigrafiar, la dependencia de una máquina por la precisión resulta en algunos grados indispensable. Por esta la pintura se esparce de forma controlada con cierta presión y cantidad, esto para salvaguardar la calidad. De igual forma se puede adaptar nuevas por el cambio de color.

Impresión: La última etapa corresponde a la serigrafía como tal, en esta la pintura es esparcida por la malla con el diseño, normalmente esta pintura es de PVC y se utiliza poca cantidad, puesto que se adhiere una sola capa del pigmento por tarea de serigrafiado.

Cada una de las cuatro etapas es indispensable al momento del proceso de serigrafía, sin embargo, pueden ser modificadas o aumentadas según diseños, demanda, materiales, tipo de tinta y

superficies a serigrafiar. Varias de las técnicas actuales conforman otras máquinas para su adaptación con diseños complejos y el tipo de pigmento.

2.3 Descripción general de una máquina de serigrafía

Las máquinas de serigrafía se han utilizado desde los inicios del método manual, estas facilitan el trabajo de esparcimiento de la pigmentación por sobre la pieza u objeto, teniendo el respaldo de precisión sujeciones o simplemente la apreciación visual. Actualmente, las máquinas de serigrafía manual son utilizadas en empresas o emprendimientos relativamente pequeños o que cuentan con la financiación para adquirir máquinas automáticas o la poca demanda de productos serigrafiados. (Castellanos y Daza, 2021)

El diseño general del artefacto de serigrafía comprende una base propia de la forma del producto a serigrafiar, por ejemplo, bases planas o bases cilíndricas; los soportes del marco para establecer la malla y que mediante la utilización de una raqueta pueda ser esparcida la pintura. El más común de los aparatos utilizados en la serigrafía plana es la denominada pulpo, en el cual se tiene más de un soporte y por ende malla, esta se utiliza cuando es necesario hacer piezas en gran cantidad o mantener un registro de colores, el giro de las mesas inicia un nuevo proceso. (Castellanos y Daza, 2021)

2.4 Tipos de máquinas de serigrafía

El desarrollo constante de la tecnología ha creado una gran cantidad de artefactos capaces de realizar este proceso con diferentes técnicas, pigmentos, superficies y demanda; varias de las máquinas manuales se han vuelto obsoletas pues no cumplen con los productos que requiere el usuario, y por esta razón se han establecidos mejoras como la automatización total o parcial. A continuación, se presenta la clasificación general en base a la tecnología aplicada en el control automático.

2.4.1 Máquina de serigrafía manual

La serigrafía elaborada de forma manual utiliza un artefacto con un mecanismo simple de base y sistema de pigmentación compuesto de la matriz, raquetas y malla. Este primer tipo de máquina se utiliza en un volumen de producción bajo, puesto que son de bajo costo y mayor tiempo de ejecución, por lo tanto, este proceso ha llegado a evolucionar con adaptaciones mecánicas, por ejemplo, la adición de más sistemas de tinta, los cuales van a rotar en el eje de la base y podrá ejecutar el proceso de serigrafía la cantidad de veces necesarias y adaptadas. Aquellas máquinas se las conoce como pulpos y contienen ventajas en tiempos de producción y cambios de colores.

Las desventajas de la utilización de una máquina manual son varias en las que se incluye el riesgo dermatológico por la exposición a químicos presentes en los pigmentos, además de la fatiga en el trabajador pues como expone (Ramírez, 2017) este necesita de un movimiento repetitivo para elaborar varias piezas en la máquina.

Los componentes generales de una máquina manual incluyen varios a los adaptados a sistemas más modernos, así mismo existen variaciones en estos, pero conservando el principio de los cuatro pasos generales del proceso de serigrafado, a continuación, se presentan los principales.



Ilustración 2-2: Máquina de serigrafía manual

Fuente: VirtualExpo, 2023

1. Marco: Este componente hecho principalmente de madera por su ligereza, es uno de los principales elementos que conforma la máquina, este contiene el pigmento, sujeta la malla de impresión y proporciona la estabilidad del proceso. Este puede ser reemplazado según requerimientos del producto y los mecanismos que conforman el artilugio.
2. Malla: Es el principal componente del artefacto, es decir, su presencia es imprescindible para el proceso pues contiene el sustrato y la plantilla. Actualmente existe una gran variedad de materiales que lo conforman, que van desde el nylon, metales ligeros, aceros; y que contienen diámetros más pequeños para una mejor precisión de la plantilla, el espaciado entre fibras ayuda en el último aspecto mencionado.

3. **Racleta:** Antiguamente esta se componía de materiales rígidos que dañaban la plantilla y malla en su utilización. Este elemento se encarga del esparcimiento de la pintura por la plantilla y adhiriéndola al producto, si bien es un componente compuesto de dos materiales, la paleta como tal debe ser elaborada de goma o un material medianamente flexible.
4. **Abrazaderas de bisagra:** Estas proporcionan la estabilidad del marco y malla, pueden ser diseñadas para facilitar el registro de colores según la facilidad de montaje y desmontaje.
5. **Micro-Registro:** Varias máquinas actuales contienen este tipo de elemento dentro de su diseño, está elaborada por tornillos de ajuste y una regla que proporciona una mejor visualización del alineamiento de las bisagras y marcos. La ventaja del micro registro es la exactitud con la que se elabora impresiones multicolor, pues su ajuste tiene un rango de tolerancia bajo.

Estos miembros son esenciales en cualquier tipo de artefacto de serigrafiado, pues cada uno desempeña un papel importante en el proceso. Las variaciones en máquinas manuales dependen de la economía, demanda y exigencias del usuario. Cabe recalcar que las próximas clasificaciones también cuentan con los mismos elementos, con la diferencia de su autonomía y control.

2.4.2 Máquina de serigrafía automática

Las máquinas automáticas de serigrafía se manejan con Controles Lógicos Programables (PLC), donde su complejidad depende de la robustez del diseño y la cantidad de variables a controlar, por ejemplo, al tener un sistema de control para varias estaciones de pintura, este control requiere de una mayor cantidad de entradas y salidas. La ventaja de la utilización de PLC es la industrialización y gran capacidad de trabajo constante, por lo tanto, es utilizado por empresas con la suficiencia económica. Como manifiesta (Castellanos y Daza, 2021) para ser considerada automática, en esta solo interviene el operario para la programación de parámetros iniciales, sin olvidar su control de proceso visual. La digitación de parámetros por parte del operario normalmente es proporcionada por una HMI (Interfaz Humano-Máquina), en esta se representa las entradas del programa con una interfaz de fácil uso y comprensión, en esta se puede incluir entradas como la rapidez de la racleta, movimiento de bases hacia las estaciones de pintura, estaciones de secado y salida del producto mediante actuadores.

Los sensores y actuadores son esenciales para la automatización de la máquina, pues completan el ciclo cerrado del proceso; a su vez el control automático programado analiza las variables y

procesa la información, proporcionando una alta precisión en el proceso. Generalmente, tolerancia de cada uno de los componentes electrónicos tienen una tolerancia de precisión muy baja con ello se salvaguarda el producto y proporciona seguridad en todos los ciclos.



Ilustración 2-3: Máquina de serigrafía automática

Fuente: VirtualExpo, 2023

Como se ha mencionado con anterioridad, los componentes de una máquina manual son los mismos en los artefactos de control automático y semiautomático, por ello se detallan aquellos miembros que automatizan al sistema:

1. Tablero de control: Este es el encargado de proporcionar la designación de variables a controlar, varios de estos contienen pantallas externas para su programación y otras con el control desde su misma interfaz. Cada entrada del controlador contiene variables esenciales que maneja cada sensor, así mismo, las salidas proporcionan la cantidad de acciones dentro del sistema general.
2. Estaciones de pintura: Está conformado por los componentes principales de una máquina manual con la diferencia de que en estos no interviene la mano del operario, sino que es sustituida por sensores y actuadores. Según el tipo de diseño pueden llegar a ser una o varias.
3. Sistema de ascenso y descenso: Varios sistemas están compuestos por actuadores tipo cilindros de doble efecto, generalmente neumáticos puesto que no se necesita de una alta presión de trabajo, a su vez los sensores de proximidad son esenciales en cada sistema. El objetivo es llegar a tener la suficiente presión de la racleta sobre la malla y el producto, obteniendo así el pigmentado del producto.

4. Sistema de alimentación de pigmento: El sistema se constituye por electroválvulas que proporcionan la cantidad necesaria de pintura, cada una de las estaciones está conectada a un sistema independiente pues en el registro de color no puede mezclarse ninguna.
5. Sistema de proporción de producto: Constituye el sistema de automatización completa del sistema, pues generalmente es el aspecto que diferencia a máquinas automáticas de semi automáticas. Está constituida por mecanismos de recogida o succión.
6. Sistema de retiro de producto: Dependiendo del material del producto y su forma; se diseña movilizar el producto fuera de las estaciones de pintura y secado. Generalmente, para superficies planas y con rigidez elevadas se utilizan bandas transportadoras.
7. Sistema de secado: Este proporciona la capacidad de un secado rápido de la pieza serigrafiada para su próximo registro de color, esto es necesario para que no exista esparcimiento innecesario de pigmento y el producto final quede en las mejores condiciones.

2.4.3 Máquina de serigrafía semiautomática

El último tipo de artefacto utiliza sistema de automatización de los vistos anteriormente, estos son principalmente los de: ascenso y descenso, alimentación de pintura y otros. La combinación del método manual con el automático proporciona la capacidad de pigmentar grandes volúmenes de piezas a su vez que reduce la fatiga del operario y maximiza la rapidez de producción. Normalmente, los sistemas de posicionamiento y retiro de producto son los elaborados de manera manual, puesto que comprenden sistemas más complejos y de alto valor monetario.

Varias de los artefactos semiautomáticos incorporan actuadores neumáticos que se mueven en sincronía adaptados a los sistemas de ascenso y descenso, así como de electroválvulas para la alimentación del pigmento. La supervisión y acción del operario es esencial para el desenvolvimiento normal del proceso.



Ilustración 2-4: Máquina de serigrafía semiautomática

Fuente: CROMAIBERICA, 2022

Las variables pueden cambiar conforme al diseño del productor, así mismo el precio de esta depende en gran proporción a los sistemas de control implementados, actuadores y sensores.

2.5 Elementos clave para el proceso de serigrafiado

2.5.1 Marco o Bastidor

Este elemento normalmente elaborado de madera, por su ventaja en construcción y montaje, es aquel que sujeta la malla elaborada de fibras o cuerdas; este a su vez es asegurado por bisagras o mecanismos como rieles a la estructura en general. Algunos mecanismos permiten que el marco se mantenga estática y el producto sea el que se desplace con la suficiente presión, pero normalmente este elemento es el que asciende y desciende hacia la pieza.

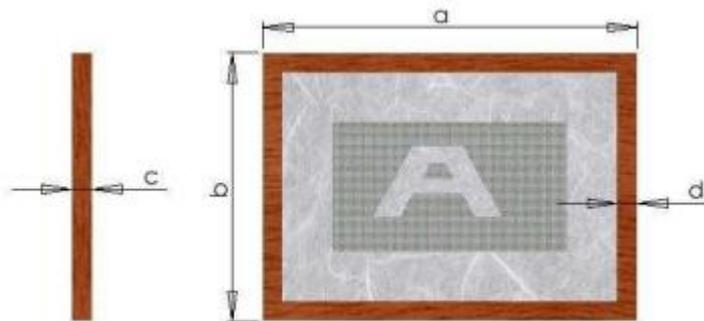


Ilustración 2-5: Dimensiones del marco para serigrafía

Fuente: (Ortiz y Vintimilla, 2021)

En base a experiencias de serigrafiado su elaboración contiene las dimensiones expuestas en la tabla, tomando en cuenta aspectos como espacio de seguridad para el desplazamiento de racle por sobre la malla.

Tabla 2-1: Dimensiones recomendadas para el marco

Dimensiones	a	b	c	d
Marco #1	58	50	4	4,5
Marco #2	58	50	4	4
Marco #3	50	40	4	4
Marco #4	40	25	3	2,5
Marco #5	30	25	2,5	1,5

Fuente: (Ortiz y Vintimilla, 2021)

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

2.5.2 Malla de Serigrafía

Este componente es esencial en el proceso de pigmentación, puesto que contiene el diseño dentro del mismo. Está constituido por fibras o hilos capaces de ser cortados al modelo presentado, es por ello por lo que su selección depende de aspectos como la densidad, resistencia y diámetros de cada fibra, así como de la elasticidad que proporciona para desenvolverse mejor en piezas irregulares o con formas no definidas.

Según el grado de la densidad de los hilos que lo componen:

- S: Diámetro pequeño muy ligero.
- M: Su diámetro es moderado.
- T: El diámetro es normalizado.
- HD: La resistencia de la fibra es mayor a las anteriores, de igual forma su diámetro es alto.

La segunda clasificación y dentro de las más comunes es la relacionada con el material, esta selección depende del tipo de calidad y necesidad en la impresión, puesto que varias no contienen una alta flexibilidad, entre ellas están:

- Malla poliamida o nylon

Una de las mallas más comunes son las elaboradas de poliamida, estas tienen una alta resistencia tanto estructural como químicamente, puesto que se adaptan a pigmentos con elevados agentes

químicos, de igual forma contiene una flexibilidad alta sin deformaciones permanentes que permite adaptarse a elementos de superficie irregular.

- Malla poliéster

El poliéster es una resina que contiene propiedades altas de resistencia a la deformación, es utilizado principalmente en elementos de alta variación superficial y, además, en largas horas de utilización constante pues su tensado resiste la mayor cantidad posible llegando a doblar su utilización en comparación con la primera malla.

- Malla poliéster alta tensión

Como su nombre lo indica, contiene una alta resistencia a la tracción permitiendo precisión en el proceso de serigrafiado a grandes volúmenes, además de ser muy ligero. Las tensiones que puede soportan llegan a los 100 N/cm. (Acuña, 2019)

- Malla poliéster metalizado

Este material elaborado de poliéster donde es sumergido en níquel para adquirir su metalización tiene una capacidad de resistencia a la tracción muy elevada, lo que permite su tensado en marcos tanto de madera como de metal, se sugiere su utilización en objetos de superficie plana, pues su adaptación a irregularidades no es alta.

- Malla acero inoxidable

Como su nombre lo indica son elaboradas de este material por su alta resistencia, su tiempo de trabajo es mucho mayor con la capacidad de producción alta, pues su resistencia permite contener volúmenes altos de pigmento. Dentro de sus desventajas está su elevado costo y elaboración.

- Malla antiestática

Su composición se basa en la combinación de poliéster y nylon carbonizado, como menciona (Acuña, 2019): “su principal ventaja es la de descargar la electricidad estática de la pantalla”, con el fin de un proceso eficiente principalmente en elementos de materiales poliméricos.

- Malla calandrada

Las tintas que contienen cantidades U. V., permiten la reducción de la cantidad de pigmento utilizado por su alta concentración química, por lo tanto, las mallas calandradas son utilizadas frecuentemente por su resistencia a estos químicos.

2.5.3 *Racleta.*

La racleta se elabora de poliuretano o también conocida como goma, su utilización es imprescindible en el proceso de serigrafiado pues cumple la función de esparcimiento de la pigmentación por sobre la malla, la forma común es similar a una espátula compuesta de dos partes fundamentales como el mango y la goma, aunque existen variaciones que contemplan solamente la parte flexible de poliuretano.

El racle como también se lo conoce puede ser elaborada siguiendo sugerencias en base a la experiencia de varios usuarios, estas dimensiones facilitan el constante uso del elemento de maneja segura y con menor rango de errores; algunas de las sugeridas dimensiones son:

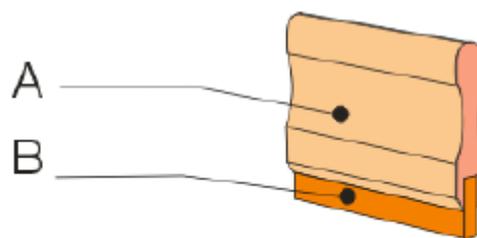


Imagen 177_01
A- Mango de la racleta
B- Tira de goma

Ilustración 2-6: Dimensiones del marco para serigrafía

Fuente: (Acuña, 2019)

- Goma:

Para el espesor, este puede ir entre los 7 y 9 mm con un largo en concordancia con las dimensiones del mango. Existe variaciones de dimensionamiento en cuestión a los procesos en los que se utiliza, por ejemplo: cuando se trata de métodos manuales el ancho debe ser de 3 a 5 cm y su espesor de 4 a 6 mm; mientras que en métodos automáticos su adaptación a la máquina tiene un ancho de 3.5 cm solamente.

- Mango:

Para la sujeción de la parte de la goma es necesario ser elaborada con un rango de tolerancia por sobre el ancho del diseño a impregnar, este sobre dimensionamiento es de 5 cm, para cubrir completamente el modelo y evitar problemas. De igual forma el alto es de 13 cm, el ancho 5 cm más que el diseño y 6 cm menor al marco; y el espesor 3 cm.

Estas recomendaciones son útiles para optimizar el proceso y con la seguridad de evitar problemas tanto en el usuario como en máquinas automáticas. El ancho total entonces debe llegar por lo menos a los 13 cm para evitar problemas de ergonomía en el proceso manual, esto permite la adaptación de los dedos del usuario sin contratiempos. (Acuña, 2019)

2.5.4 Tablero de Impresión

El tablero de impresión no es más que la base por sobre la cual se establecen los elementos a serigrafiar, es decir, son planos para la serigrafía en superficie laminar, mientras que, para productos o piezas de formas cónicas y cilíndricas, esta base debe ser sustituida por rodamientos, tornillos, entre otros; que permitan la rotación del objeto sin trabas. Para máquinas denominadas “pulpo” en donde existe mayor cantidad de estaciones de serigrafía es necesario que el tablero pueda rotar y llegar a las estaciones.

2.5.5 Pintura

La pintura PVC para serigrafía es un tipo de tinta especializada utilizada para imprimir sobre plásticos, PVC y otros sustratos similares. Esta tinta está diseñada para adherirse de manera efectiva a superficies de PVC, policarbonatos, ABS, resinas acrílicas, entre otros, puesto que al mezclarse con el plastificante se produce el denominado elastómero que posee gran resistencia. Algunas de las características comunes de la pintura PVC para serigrafía incluyen un acabado brillante o mate, durabilidad y la capacidad de ser utilizada en la impresión de adhesivos de PVC. Se encuentra disponible en diferentes presentaciones, como en polvo o líquido, y en una variedad de colores. (Ávila, 2015)

2.6 Metodologías de diseño

2.6.1 Norma VDI 2221

La metodología VDI 2221 es una norma alemana, desarrollada por la Asociación Alemana de Ingenieros, que proporciona un enfoque sistemático para el desarrollo y diseño de sistemas y productos técnicos, con una variación de la normativa original VDI 2222. Esta trata los principios básicos del diseño metódico de todo tipo de productos y sistemas técnicos y define los objetivos centrales, actividades y resultados del trabajo en un "modelo de diseño de producto" que

proporciona directrices centrales para el proceso de diseño. VDI 2221 Blatt 1 proporciona un modelo de diseño de producto, mientras que VDI 2221 Blatt 2 adapta el modelo general de diseño de producto al contexto específico de una empresa. (VDI, 2019)

El desarrollo de la directiva VDI 2221 se basó en las experiencias prácticas y consideraciones científicas de varios expertos, entre ellos Beitz, Koller, Kollmann, Pahl, Rodenacker y Roth. La directriz abarca las cuatro fases principales de diseño: definición del problema, diseño conceptual, desarrollo del proyecto y diseño de detalle. (Jänsch & Birkhofer, 2006)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describe la metodología a ser considerada para la planeación, ejecución, toma y análisis de datos y validez de resultados; mediante el uso de métodos previamente validados. Por lo tanto, se ha visto conveniente llevar el proyecto basado en el Modelo de Diseño Alemán VDI 221 que es una técnica sistemática utilizada en ingeniería para abordar problemas complejos de diseño y desarrollar soluciones de manera estructurada.

El proyecto es considerado de carácter práctico y explicativo, de tal manera se consideraron varias condiciones que van desde la ergonomía, la seguridad de la operación y las exigencias propuestas por la empresa, así se observa varios análisis del mecanismo y simulaciones que comprueben la veracidad de resultados para la siguiente construcción de la máquina serigráfica. En tanto al siguiente capítulo se analizan los resultados para la legitimación de los objetivos propuestos en el inicio del proyecto y respaldados en la lista de exigencias del usuario.

3.1 Lista de exigencias

La lista de exigencias de acuerdo con la norma VDI 2221 hace referencia a una lista detallada de los requisitos y criterios que un diseño debe cumplir. Estos requisitos pueden abordar aspectos técnicos, funcionales, económicos, legales, ambientales y otros que sean relevantes para el producto que se está diseñando, a continuación, se presenta una tabla con dicho apartado.

Tabla 3-1: Lista de exigencias propuesta por la empresa.

LISTA DE EXIGENCIA	
PROYECTO	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DE SERIGRAFÍA PARA PIEZAS CILÍNDRICAS Y CÓNICAS ENTRE 20MM A 200MM
Deseo o exigencia	DESCRIPCIÓN:
Exigencia	Función principal: Serigrafiar piezas cilíndricas en base a movimientos rectilíneos mediante una malla previamente revelada con una capacidad de 360 piezas por hora demandados por la empresa sin perder su calidad de serigrafado y reduciendo un operario.

Deseo	<p>Material:</p> <p>En el diseño se propondrá materiales que se comercialicen en el mercado nacional, así como materiales económicos y sustentables para el funcionamiento de la máquina, para asegurar la rigidez y trabajo en masa se exige la utilización de acero estructural.</p>
Exigencia	<p>Cinemática:</p> <p>Los movimientos de la máquina comprenden desplazamientos rectilíneos con un control de la rapidez, basados en mecanismos simples y de propósitos especiales como en el caso del yugo escocés, así obtener la optimización de tiempos en la serigrafía sin causar ningún daño a las piezas.</p>
Deseo	<p>Geometría:</p> <p>Tendrá piezas existentes en el mercado fácil de encontrar para su mantenimiento y su diseño será compacto dimensionando el equipo deberá estar formado por una altura no mayor a 0.8x1x1 m para sus dimensiones correspondientes.</p>
Exigencia	<p>Intercambiabilidad:</p> <p>La exigencia propone la posibilidad de cambio de malla mediante mecanismos o sujeciones no fijas como pernos y demás piezas de unión no permanentes generen en la máquina un registro de colores, es decir, la posibilidad de serigrafar una pieza en más de un color.</p>
Exigencia	<p>Fuerza:</p> <p>La fuerza ejercida sobre la pieza cilíndrica proveniente del racle en conjunto con la malla debe aproximarse a los 10 N, valor que mediante la experiencia proporciona mejores resultados.</p>
Exigencia	<p>Control:</p> <p>Es indispensable el control de desplazamientos en componentes como racle y malla, tanto para inspeccionar la presión ejercida en la pieza y la optimización del espacio de serigrafiado; y en consecuencia la mejora en tiempos de producción.</p>
Deseo	<p>Seguridad:</p>

	Si la máquina en caso de perder control de los movimientos rectilíneos y afecte a la serigrafía de la pieza debe contar con un pulsador o paro de emergencia que detendrá todo el movimiento que se esté realizando y no tener algún daño físico del operario y pérdidas económicas por daños tanto del operario como de la pieza.
Deseo	Montaje: Mediante el aboceto de la máquina se garantizará el fácil armado y desmontaje de componentes, tomando en cuenta dimensiones y mecanismos sencillos que delimitan la cantidad de piezas.
Exigencia	Mantenimiento: La máquina semiautomática de serigrafía debe tener un diseño simple que facilite el mantenimiento en las partes rotativas y estructural, así como del cambio de componentes cuando sea necesario.
Exigencia	Energía: La energía por utilizar debe ser suministrada por la red eléctrica nacional conectada a 110 V y 60 Hz, que alimentará a todos los componentes eléctricos y electrónicos tanto el en panel de control como de mecanismos simples, así actuadores, reguladores, etc.; conllevan el mismo suministro.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.2 Estructura de funciones

Analizados los requerimientos de la máquina de serigrafía en cuanto a su diseño, se estableció su función principal mediante la utilización de la denominada caja negra donde se contempla aspectos de entrada y salida y que se presenta, es decir, trata de determinar todos los aspectos como materia prima energía de cualquier tipo y también sistemas de control que va a regir en la determinación del siguiente punto que es la estructura de funciones, cada detalle se define en la ilustración a continuación:



Ilustración 3-1: Caja negra

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El proceso de serigrafiado de piezas cilíndricas y cónicas empieza por el por la comprobación de la velocidad y movimiento de un ciclo de la máquina, con ello se proporciona la pintura PVC en la malla y así con el posicionamiento de la pieza a serigrafiar se proporciona el impulso de energía eléctrica para el inicio del primer ciclo, mediante señales de control se observa los ciclos automáticos, se puede observar las salidas de energía mecánica mediante el movimiento de los ejes, la expulsión de calor ruido y vibración al usar un motor eléctrico y la recepción de la pieza serigrafiada en su totalidad.

3.2.1 Descripción de funciones

La descripción de las funciones de la máquina de serigrafía se detalla en los siguientes apartados, de igual forma se establece una especificación en la ilustración 3-19:

a) Ubicar la pieza cilíndrica a serigrafiar

Puesto que la malla y el racle se mantiene siempre a una cierta altura, se debe ajustar el mecanismo donde se posiciona la pieza y que está compuesta de una base regulable y sobre esta base se encuentran rodamientos que permiten el giro libre de la pieza a serigrafiar.

b) Regular la carrera de la malla

Al comprobar el movimiento y la velocidad del motor se debe ajustar la distancia de recorrido que va a realizar la malla junto con el racle, esto con el objetivo de optimizar el tiempo de serigrafiado.

c) Recargar de la pintura PVC

Dentro de la preparación del ciclo se debe posicionar la pintura PVC dentro de la malla que por experiencia de la empresa se establece en 8 gramos para 100 piezas de 60 mm de diámetro, en constante transmisión de ciclos, es decir, producciones en masa esto se debe de regular dependiendo la cantidad de piezas y el diámetro de estas.

d) Serigrafiar la pieza

Una vez establecidos todos los pasos de preparación se continúa con el primer ciclo de serigrafiado, esto se efectúa mediante el pulso eléctrico de inicio y donde el motor eléctrico va a girar a la velocidad establecida previamente, el proceso se mantiene automático. Para cada una de las piezas a serigrafiar se las posiciona manualmente.

e) Receptar la pieza cilíndrica serigrafiada

Con la pieza serigrafiada se recepta cada una de estas y como se mencionó anteriormente cada una de estas se las hace de manera manual.

3.2.2 *Secuencia de funciones*

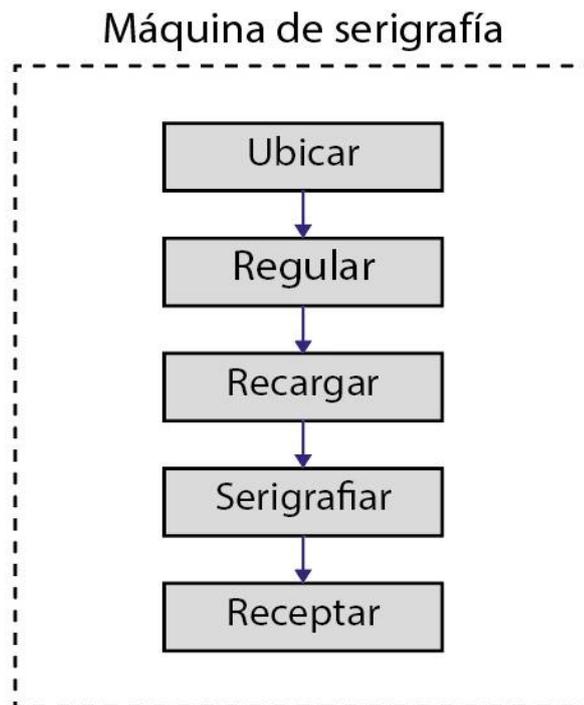


Ilustración 3-2: Secuencia de funciones en ciclo de trabajo

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.2.3 Estructura de funciones

La Ilustración 3-12 representa los diferentes dominios de las funciones de la máquina de serigrafía semiautomática, tomando en cuenta tres dominios principales en los que se baja el ciclo de trabajo, como se muestra a continuación:

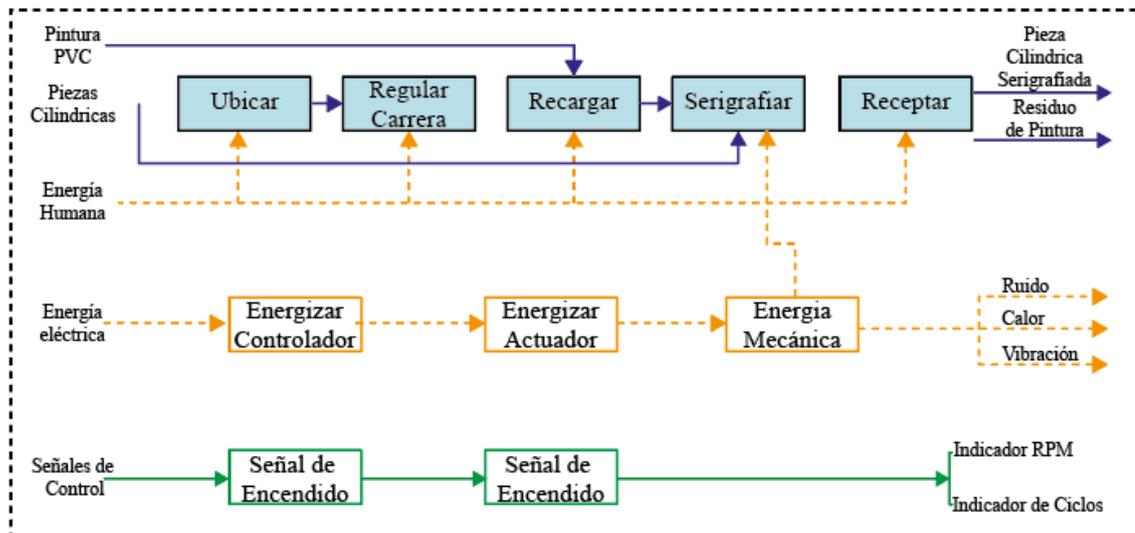


Ilustración 3-3: Estructura de funciones

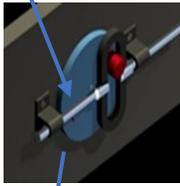
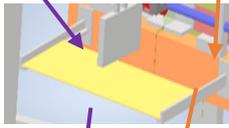
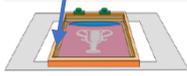
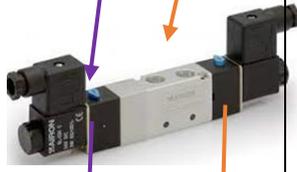
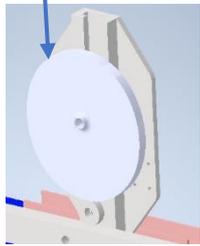
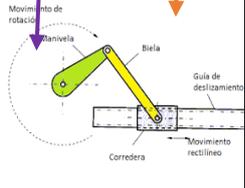
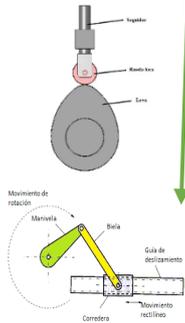
Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

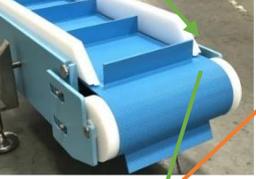
3.2.4 Matriz Morfológica

Habiendo establecido las funciones inherentes a la máquina de serigrafía semiautomática, se emplea la matriz morfológica de Zwicky propuesta por la norma alemana, esta establece varias alternativas de solución en relación con el diseño de la mencionada máquina, analizando los posibles caminos diferenciados por color como se muestra en la Ilustración 3-12.

Estas alternativas se sometieron a una evaluación exhaustiva con el propósito de identificar la opción óptima que satisfaga plenamente los requisitos especificados que van desde lo económico, ergonomía, diseño, control, etc. Las funciones por tanto son esenciales para determinar las soluciones posibles, cabe recalcar que en el aspecto económico implica en este caso la adquisición de los actuadores, controladores y sensores que no se detallan en las funciones, pero que han sido añadidos en la investigación, la variación de precios depende también de marcas, que también se especifican en algunos casos.

Tabla 3 - 2: Matriz Morfológica

Función		Portadores de funciones		
1	Ubicar			
		Manual-base con niveles	Base giratoria de rodamientos	Cilindro base
2	Regular			
		Manual-mecanismo yugo escocés	Manual-guías de sujeción	Manual-mecanismo cremallera ajustable
3	Recargar			
		Manual vertiendo pintura sobre malla	Automática-válvula automática	Manual-tanque de almacenamiento y válvula
4	Serigrafiar			
		Mecanismo unido-leva y yugo escocés	Dos mecanismos separados de biela manivela	Dos mecanismos separados: leva y biela manivela

5	Actuador			
		Motor a pasos Nema	Motorreductor 1/4 Hp	Motor ACI 83094
6	Controlador			
		ESP 32	PLC Logo de Siemens	Arduino
7	Receptor			
		Manual	Banda transportadora	Automático con actuador lineal
Alternativas		1 — 2 — 3 — 4 —		

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.2.5 Concepto de solución óptimo

Una vez establecida las alternativas en la matriz morfológica se contemplan 4 caminos posible para el diseño y selección de componentes de acuerdo con los requerimientos establecidos, por lo tanto, se analiza cada una de estas tomando en cuenta ventajas y desventajas como se detalla a continuación:

3.2.5.1 Alternativa 1

Las primeras funciones de la máquina de serigrafía semiautomática se tratan de preparación previa antes del proceso de serigrafiado, en la primera etapa se debe de ubicar las piezas cilíndricas y cónicas en una base con la posibilidad de giro sin mucha fricción, puesto que el racle y malla

genera una presión en el objeto ese gira conforme al desplazamiento lateral de estos componentes, para esta primera alternativa se debe de ubicar en una base con niveles ajustables analizando la posible presión que va a recibir, es decir, se nivela la altura a la que se ajusta la base y sobre los rodamientos va la pieza, después la carrera de la malla se regula con un mecanismo de yugo escocés que cuenta con diferentes orificios que representa los niveles de desplazamiento horizontal de malla, para finalizar la parte de preparación la pintura se ubica de forma manual por sobre la malla. El proceso de serigrafado se lleva a cabo con la composición de un mecanismo unido de yugo escocés y leva, la leva genera el movimiento vertical de los componentes que serigrafían y el segundo mecanismo corresponde al movimiento horizontal, para generar el movimiento de los mecanismos se utiliza un motor a pasos NEMA que a su vez será controlado con un PLC Logo que envía las señales tanto de encendido como de control de velocidades.

Elementos

- Base con niveles
- Mecanismo yugo escocés
- Leva
- Motor a pasos NEMA
- PLC Logo de Siemens

Funcionamiento

La ubicación de la pieza cilíndrica sobre la base con rodamientos debe ser tal que al momento de generar presión sobre esta pueda alcanzar 1 N de fuerza, el desplazamiento horizontal de malla y racle desde estar dentro del rango de 62.832 mm a 628.32 mm lo que se ajusta con el mecanismo yugo escocés, luego la recarga de pintura debe llegar a 8 gr. de pintura por cada 100 piezas a serigrafiar; el Motor Weg debe llegar a 20 RPM y no superar los 60 RPM, que será controlado tanto las señales de encendido, control de velocidad, apagado y paro de emergencia con un módulo ESP 32, así mismo las magnitudes de RPM y ciclos se observan en la pantalla HMI.

3.2.5.2 Alternativa 2

Al igual que la primera alternativa, en la primera etapa se debe de ubicar las piezas cilíndricas y cónicas en una base con la posibilidad de giro sin mucha fricción, puesto que el racle y malla genera una presión en el objeto ese gira conforme al desplazamiento lateral de estos componentes, para esta primera alternativa se debe de ubicar en una base con niveles ajustables analizando la posible presión que va a recibir, es decir, se nivela la altura a la que se ajusta la base y sobre los rodamientos va la pieza, después la carrera de la malla se regula con un mecanismo de yugo

escocés que cuenta con diferentes orificios que representa los niveles de desplazamiento horizontal de malla, para finalizar la parte de preparación la pintura se ubica de forma manual por sobre la malla. El proceso de serigrafiado se lleva a cabo con la composición de un mecanismo unido de yugo escocés y leva, la leva genera el movimiento vertical de los componentes que serigrafian y el segundo mecanismo corresponde al movimiento horizontal, para generar el movimiento de los mecanismos se utiliza dos motores Nema a pasos que a su vez serán controlados con un módulo ESP 32 que envía las señales tanto de encendido como de control de velocidades.

Elementos

- Base con niveles
- Guías de sujeción
- Válvula neumática
- Dos mecanismos biela manivela
- Motor a pasos NEMA
- Módulo ESP 32

Funcionamiento

La ubicación de la pieza cilíndrica sobre la base con niveles debe ser tal que al momento de generar presión sobre esta pueda alcanzar 1 N de fuerza, el desplazamiento horizontal de malla y racle desde estar dentro del rango de 62.832 mm a 628.32 mm lo que se ajusta con el mecanismo yugo escocés, luego la recarga de pintura debe llegar a 8 gr. de pintura por cada 100 piezas a serigrafiar; los dos motores a pasos NEMA deben llegar a 20 RPM y no superar los 60 RPM, que será controlado tanto las señales de encendido, control de velocidad, apagado y paro de emergencia con un Módulo ESP 32, y la recepción es manualmente.

3.2.5.3 Alternativa 3

Para esta tercera alternativa de solución la primera etapa se debe de ubicar las piezas cilíndricas y cónicas en una base, esta se fabrica de tal manera que contenga dentro de ella a la pieza, es decir, forma una especie de forro el cual va a girar gracias a que está sujeto a rodamientos que va a hacer que la pieza no gire, solamente la base lo hará; después la carrera de la malla se regula con guía de sujeción, para finalizar la parte de preparación la pintura se llevará de forma automática mediante una válvula neumática. El proceso de serigrafiado se lleva a cabo con la composición de dos mecanismos biela manivela, el primero genera el movimiento vertical de los componentes que serigrafian y el segundo mecanismo corresponde al movimiento horizontal de

la malla y racle, para generar el movimiento de los mecanismos se utiliza dos motores ACI 83094 que son destinados para elevadores eléctricos de vidrios automotrices, a su vez será controlados con un Módulo ESP 32 que envía las señales tanto de encendido como de control de velocidades; la recepción de la pieza serigrafiada se lleva a cabo con el funcionamiento de un actuador lineal que genera un toque a la pieza para sacarlo de la base.

Elementos

- Base giratoria de rodamientos
- Guías de sujeción
- Válvula neumática
- Dos mecanismos biela manivela
- Dos motores ACI 83094
- Arduino
- Actuador lineal de clasificación

Funcionamiento

La ubicación de la pieza cilíndrica sobre la base conectada con rodamientos a una base fija debe ser tal que al momento de generar presión sobre esta pueda alcanzar 1 N de fuerza, el desplazamiento horizontal de malla y racle desde estar dentro del rango de 62.832 mm a 628.32 mm lo que se ajusta con él la guía de sujeción, luego la recarga de pintura debe llegar a 8 gr. de pintura por cada 100 piezas a serigrafiar llevada a cabo con la activación de una válvula neumática se forma que se vuelva automatizada esta función; los dos motores ACI 83094 deben llegar a 20 RPM y no superar los 60 RPM y arrancarán de forma no uniforme, puesto que el movimiento vertical debe llevarse primero y en consecuencia el otro movimiento, estos serán controlados tanto las señales de encendido, control de velocidad, apagado y paro de emergencia con microcontrolador Arduino.

3.2.5.4 Alternativa 4

La última alternativa de solución, la primera etapa se debe de ubicar las piezas cilíndricas y cónicas en una base, esta se fabrica de tal manera que contenga dentro de ella a la pieza, es decir, se utiliza una especie de molde contenedor de la pieza para que pueda girar junto a esta; después la carrera de la malla se regula con una cremallera y piñón para regular el paso de la malla horizontalmente, para finalizar la parte de preparación la pintura se llevará de forma automática mediante un tanque pequeño de almacenamiento de pintura que contiene una válvula y se accionará cuando sea necesario dicha pintura PVC. El proceso de serigrafiado se lleva a cabo con

la composición de dos mecanismos el primero de leva y seguidor y el segundo de biela manivela, el primero genera el movimiento vertical de los componentes que serigrafian (malla y racle) y el segundo mecanismo corresponde al movimiento horizontal de la malla, para generar el movimiento de los mecanismos se utiliza dos motores de $\frac{1}{4}$ Hp a su vez será controlados con un PLC logo que envía las señales tanto de encendido como de control de velocidades; la recepción de la pieza serigrafiada se lleva a cabo mediante una banda transportadora de los objetos ya serigrafiados. Finalmente, los indicadores de activación, RPM y ciclos se observan en una pantalla HMI.

Elementos

- Cilindro Base
- Mecanismo cremallera ajustable
- Tanque de almacenamiento con válvula
- Mecanismos leva y biela manivela
- Dos motorreductores $\frac{1}{4}$ Hp
- Módulo ESP 32
- Banda transportadora

Funcionamiento

La ubicación de la pieza cilíndrica una matriz cilíndrica donde se incrusta la pieza con rodamientos a una base fija, esta localización debe ser tal que al momento de generar presión sobre esta pueda alcanzar 1 N de fuerza, el desplazamiento horizontal de malla y racle desde estar dentro del rango de 62.832 mm a 628.32 mm lo que se ajusta con el mecanismo cremallera ajustable, luego la recarga de pintura debe llegar a 8 gr. de pintura por cada 100 piezas a serigrafar llevada a cabo con la activación de una válvula de bola que se conecta al recipiente que contiene el tinte; los dos motorreductores de $\frac{1}{4}$ Hp deben llegar a 20 RPM y no superar los 60 RPM y arrancarán de forma no uniforme, primero lo hace la leva para llegar al punto de serigrafiado y luego el mecanismo de biela manivela para el movimiento horizontal que esparce la pintura, estos movimientos serán controlados tanto las señales de encendido, control de velocidad, apagado y paro de emergencia con un Arduino. Finalmente, la recepción se da en la caída en banda transportadora.

3.2.5.5 Evaluación técnica

La evaluación en este aspecto técnico recomendado por la norma VDI 2225 que ha establecido una tabla en donde se descomponen las alternativas consideradas.

Tabla 3 - 3: Evaluación técnica del proyecto

Evaluación de proyectos – Valor técnico (Xi)												
Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DE SERIGRAFÍA PARA PIEZAS CILÍNDRICAS Y CÓNICAS ENTRE 20MM A 200MM												
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según Norma VDI 2225)												
g: peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación												
0=No aceptable, 1= Poco satisfactorio, 2= Suficiente, 3= Bien, 4=Ideal												
Criterios de evaluación en fase de conceptos o proyectos												
Variables de proyectos			Alternativas de solución								Solución ideal S	
			1		2		3		4			
No	Criterios de evaluación	g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g
1	Operación simple	4	4	16	4	16	3	12	4	16	4	16
2	Fácil mantenimiento	3	4	12	4	12	3	9	2	6	4	12
3	Montaje	3	3	9	3	9	2	6	2	6	4	12
4	Seguridad	2	3	6	3	6	3	6	3	6	4	8
5	Eficiencia energética	2	4	8	3	6	2	4	2	4	4	8
6	Regulación de carrera	2	3	6	3	6	4	8	3	6	4	8
7	Intercambiabilidad de malla	2	4	8	4	8	4	8	2	4	4	8
8	Control de actuadores	3	4	12	3	9	3	9	3	9	4	12
9	Programación	2	3	6	3	6	2	4	3	6	4	8
10	Diseño robusto	4	4	16	3	12	3	12	3	12	4	16
Puntaje máximo		27	36	99	33	90	29	78	27	75	40	108
Valor técnico (Xi)			0.917		0.833		0.722		0.694		1	

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.2.5.6 Evaluación económica

Este aspecto es relevante al momento de implementar la máquina de serigrafía semi-automática, puesto que representa una inversión en la empresa requerida, de igual se establecen criterios de evaluación que son respaldados por costos de proveedores en todos los componentes e instalación.

Tabla 3 - 4: Evaluación económica del proyecto

Evaluación de proyectos – Valor económico (Yi)

Proyecto: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DE SERIGRAFÍA PARA PIEZAS CILÍNDRICAS Y CÓNICAS ENTRE 20MM A 200MM												
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según Norma VDI 2225)												
g: peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación												
0=No aceptable, 1= Poco satisfactorio, 2= Suficiente, 3= Bien, 4=Ideal												
Criterios de evaluación en fase de conceptos o proyectos												
Variables de proyectos			Alternativas de solución								Solución ideal S	
			1		2		3		4			
No	Criterios de evaluación	g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g
1	Costo de componentes	4	4	16	3	12	3	12	2	8	4	16
2	Costo de instalación	3	3	9	3	9	3	9	2	6	4	12
3	Costo de fabricación	4	4	16	2	8	3	12	3	12	4	16
4	Costo de operación	3	4	12	4	12	3	9	3	9	4	12
5	Costo de mantenimiento	2	4	8	3	6	4	8	3	6	4	8
6	Costo energético	2	4	8	3	6	3	6	3	6	4	8
7	Costos adicionales	2	3	6	2	4	3	6	3	6	4	8
Puntaje máximo		20	26	75	20	57	22	62	19	53	28	80
Valor técnico (Yi)			0.938		0.7125		0.775		0.663		1	

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Los resultados de las evaluaciones tanto económicas (Yi) como técnicas (Xi), se expresan en la siguiente tabla, tomando en cuenta las ponderaciones anteriormente consideradas, para la elección del diseño a emplear en la máquina.

Tabla 3 - 5: Resumen de evaluaciones técnicas y económicas

Alternativa de solución	Valor técnico – Xi	Valor económico - Yi
1	0.917	0.938
2	0.833	0.7125
3	0.722	0.775
4	0.694	0.663

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.2.5.7 Resultados de la prueba técnica-económica

Mediante el uso de la norma VDI, la evaluación a los parámetros técnico y económico observados en la ilustración 3-13 en donde el eje X determina el primer aspecto y el eje Y el segundo respectivamente, se analiza una tendencia hacia las alternativas de solución número 1 y 4, en donde la primera alternativa será considerada como guía para el diseño conceptual, puesto que tiene un equilibrio entre lo técnico y económico, y además las valoraciones llegan casi al ideal (valor de 4), mientras que la alternativa 4 se considera menos satisfactorio en ese sentido, aunque se acerca mucho a la línea de equilibrio. Las alternativas de solución 2 y 3 difieren mucho de la línea de solución que se explica por el desequilibrio técnica y económicamente, aunque resulten ser más robustos sus diseños.

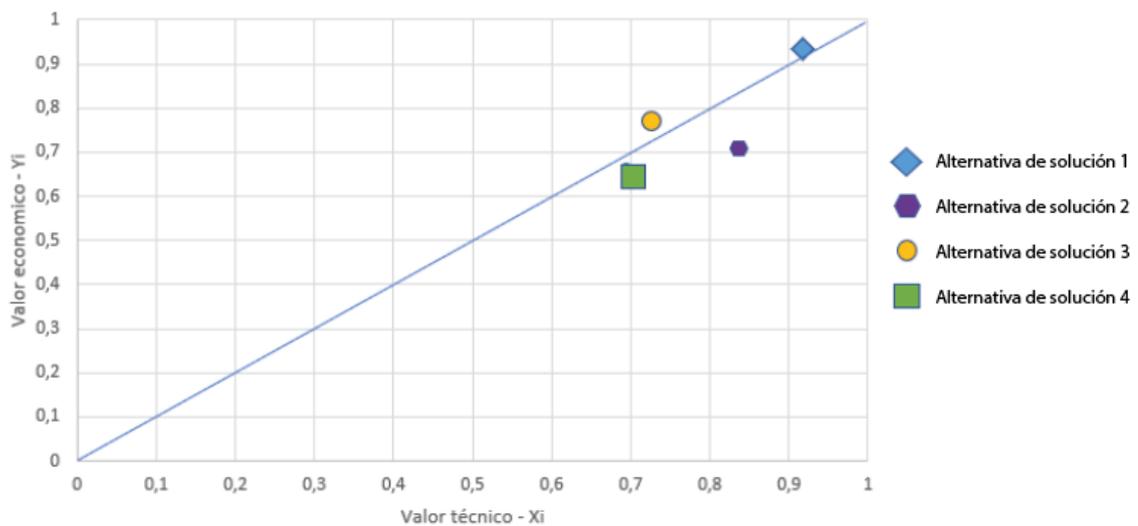


Ilustración 3-4: Diagrama de evaluación de alternativas de solución

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3 Diseño conceptual

El modelado 3D es crear tridimensionalmente objetos de la máquina de serigrafía ocupando software especializados en CAD, (diseño asistido por computador) para este proyecto ocuparemos Autodesk Inventor estudiantil de acceso libre. Este modelado se basa en los fundamentos realizados anteriormente con la alternativa ganadora que contiene las características básicas necesarias, mecanismos, elementos electrónicos y eléctricos.

3.3.1 Modelado 3D

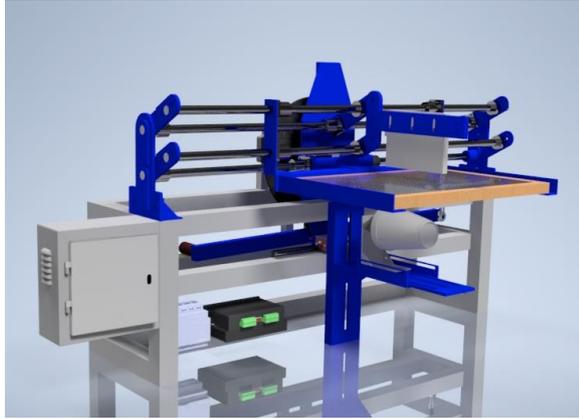


Ilustración 3-5: Alternativa 1 de máquina de serigrafía

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.2 *Características principales*

La máquina de serigrafía contará con las siguientes características, basados a las exigencias y alternativas de solución.

- Dimensiones generales: Ancho 900 mm x 500 mm x de 450 mm
- Producción: 1000 piezas cilíndricas por hora
- Peso máximo: 53.15 kg
- Carrera de racle vertical: Desplazamiento de 50 mm
- Carrera de serigrafiado: 330 mm
- Carrera máxima de serigrafiado con accesorio: 320 mm

La máquina cuenta además de características que permiten los requerimientos establecidos como:

- Control automático: Control Start/Stop, regulador de velocidad de motor, Paro de emergencia.
- Movimiento de mecanismo repartido en 3 partes: Descenso de racle y malla, carrera de malla y Ascenso de racle y malla para próximo posicionamiento de pieza cilíndrica.
- Accesorio adicional para la carrera máxima de serigrafiado de 60 mm útil.

3.3.3 *Selección del material*

De acuerdo con los requerimientos de diseño, la máquina debe contar con la robustez necesaria para adaptarse a producciones en serie, por lo tanto, la utilización del acero en sus distintas composiciones es necesario tanto para estructura interna como externa. A continuación, se detalla el material en las partes estructurales más relevantes.

Estructura externa: Esta conlleva en su mayoría una gran resistencia pues debe ser capaz de soportar los movimientos del proceso, así como de las cargas expuestas en cada elemento. Para este componente se selecciona el acero estructural ASTM A36, su facilidad de unión soldada como adaptaciones de elementos de unión no permanentes facilita el montaje del sistema.

Ejes: Este elemento está sometido a cargas fluctuantes, además la adaptación de rodamientos lineales que son guiados en su estructura requiere de características que disminuyan el rozamiento entre los componentes, así el acero cromado ASI 4340 (705) brinda la seguridad de cumplir exigentes jornadas de trabajo, con poco rozamiento al tratarse de un acero bonificado al Cromo y que por tanto se adapta de mejor forma a la corrosión y muy pocos cambios a torsión.

Leva: En primera instancia se podría pensar que este elemento no requiere de tanta resistencia, pero al tener que soportar cargas que puedan deformar el elemento es necesario diseñarlo con acero A36. Su alta resistencia y poca deformación brinda la capacidad de no sufrir cambios estructurales.

Guía del seguidor: La presión con la que debe contar este elemento sugiere de materiales con buenas características y un proceso de elaboración exacta, por tanto, la utilización de un bloque HGH20HA HIWIM, con una composición principal de Aluminio en sus canales.

3.3.4 Carrera de serigrafiado

En el proceso de concepción de la máquina semiautomática de serigrafía, se llevaron a cabo los cálculos correspondientes para las piezas mecánicas, así como la selección de los elementos necesarios, los cuales fueron elegidos de entre diversos catálogos disponibles en el mercado. Estas decisiones se tomaron considerando los requisitos establecidos por la empresa solicitante para el desarrollo de la máquina. El primer parámetro de diseño conceptual abordado fue el dimensionamiento de la carrera neta de serigrafiado, la cual se ha definido para permitir la impresión en dos fases de una pieza cilíndrica con un diámetro máximo de 200 mm.

3.3.4.1 Desplazamiento de yugo escoces

Se efectuó el cálculo del desplazamiento del yugo escocés con respecto a la pieza cilíndrica de 200 mm, la cual será serigrafiada en dos fases. Se determinó que la carrera neta de impresión sería de 320 mm, obtenida a partir del perímetro de la pieza cilíndrica. Esto implica que la longitud del yugo es de 160 mm.

$$P = 2\pi r \tag{1.3}$$

$$P = 2\pi(10 \text{ cm})$$

$$P = 62.8318 \text{ cm}$$

$$\text{Longitud yugo} = \frac{62.8318 \text{ cm}}{2}$$

$$\text{Longitud yugo} = 31.415 \text{ cm}$$

$$\text{Longitud yugo} \sim 32 \text{ cm} = 320 \text{ mm}$$

En donde:

P – Perímetro de la pieza cilíndrica

r – Radio de la pieza cilíndrica

3.3.4.2 Dimensionamiento de leva

En el diseño de la leva con seguidor se debe considerar las tres condiciones que se requiere para la máquina, juntamente con la distancia necesaria de desplazamiento del yugo escocés que en síntesis representa el radio de la leva y que conlleva al desplazamiento horizontal de la malla, el radio contemplado para este se toma en el segundo ciclo de la leva, así el diseño considerado lleva lo siguiente:

- Ciclo 1: En los primeros 120° desde existir un desplazamiento de 15mm del seguidor hacia abajo y la posición del seguidor debe estar en 270° .
- Ciclo 2: En la etapa dos, en 120° el seguidor debe estar en reposo, no debe existir un desplazamiento del seguidor, es donde actúa el yugo escocés y se da el proceso de serigrafía.
- Ciclo 3: En la última etapa de 120° completando una revolución de la leva, el seguidor debe tener el desplazamiento a la posición inicial, es decir, una distancia de 15mm verticalmente.

Tabla 3 - 6: Ciclos de la leva

Etapa	Movimiento	Desplazamiento	Grados
Primera	Armónico	135mm – 150mm	120°
Segunda	Paró	150mm	120°
Tercera	Cicloidal	150mm-135mm	120°

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Primera etapa

Se selecciona un movimiento armónico, puesto que debe tener un desplazamiento suave y repetitiva, para eso las ecuaciones de descenso de diseño de una leva con movimiento armónico contempladas en grados por segundo, se muestran en la tabla:

Tabla 3 - 7: Ecuaciones de leva en movimiento armónico

Magnitud	Descenso
Desplazamiento	$\Delta R_j = H_F + \frac{H_j}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \phi_j}{\beta_j} \right) \right]$
Velocidad	$V_j = \frac{-\pi H_j \omega}{2 \beta_j} \left[\sin \left(\frac{\pi \phi_j}{\beta_j} \right) \right]$
Aceleración	$a_j = \frac{-\pi^2 H_j \omega^2}{2 \beta_j^2} \left[\cos \left(\frac{\pi \phi_j}{\beta_j} \right) \right]$

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Donde:

ΔR_j = Desplazamiento del seguidor

H_F = Distancia de desplazamiento del seguidor

H_j = Cota final del desplazamiento del seguidor

ϕ_j = Ángulo durante el intervalo de rotación en descenso (grados)

β_j = Ángulo de rotación de la leva durante el intervalo de descenso (grados)

ω = Velocidad de la leva (grados por unidad de tiempo)

V_j = Velocidad instantánea del seguidor

a_j = Aceleración instantánea del seguidor

Remplazamos los valores en cada una de las ecuaciones de desplazamiento, velocidad y aceleración.

- Desplazamiento

$$\Delta R_j = H_F + \frac{H_j}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \phi_j}{\beta_j} \right) \right] \quad (2.3)$$

$$\Delta R_j = 15 + \frac{135}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \phi_j}{\beta_j} \right) \right]$$

- Velocidad

$$V_j = \frac{-\pi H_j \omega}{2\beta_j} \left[\sin\left(\frac{\pi\phi_j}{\beta_j}\right) \right] \quad (3.3)$$

$$V_j = \frac{-\pi * 135 * \omega}{2\beta_j} \left[\sin\left(\frac{\pi\phi_j}{\beta_j}\right) \right]$$

- Aceleración

$$a_j = \frac{-\pi^2 H_j \omega^2}{2\beta_j^2} \left[\cos\left(\frac{\pi\phi_j}{\beta_j}\right) \right] \quad (4.3)$$

$$a_j = \frac{-\pi^2 * 150 * \omega^2}{2\beta_j^2} \left[\cos\left(\frac{\pi\phi_j}{\beta_j}\right) \right]$$

La resolución de estas ecuaciones se analiza mediante el software Matlab, conociendo constantes y variables utilizadas, tomando en cuenta que la posición angular al inicio del ciclo se encuentra a 270° medido desde el eje positivo X , y culminando con una vuelta entera. De igual forma se observa condiciones iniciales como una velocidad angular $\omega = 20 \text{ RPM}$ y la aplicación de la fuerza de 1 N , el número de iteraciones realizadas o número de pasos seleccionados son $n = 100$, estas condiciones se visualizan en la ilustración siguiente y será utilizado en cada una de las etapas de la elaboración de la leva.

```
global s2 o2
o2i=270;
o2f=o2i+360;

o2p=20*2*pi()/60; %rad/s
o2pg=o2p*180/pi(); %grados/s

Fuerza=1; %N

n=100;

inc=(o2f-o2i)/n;

x1i=[150 30 30 30];
```

Ilustración 3-6: Matlab – condiciones iniciales, incremento de iteraciones.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La primera condición contiene las posiciones, velocidades y aceleraciones expresadas en ecuaciones a resolver en el programa, como se muestra a continuación:

```

for i=1:1:n+1

    if i==1
        o2=o2i;
    else
        o2=o2+inc;
    end

    if o2<270+120
        s2=135+15*(1-((o2-o2i)/(120)))+(1/(2*pi()))*sin((2*pi()*(o2-o2i))/(120));
        s2p=-(15*o2pg/120)*(1-cos(2*pi()*(o2-o2i)/120));
        s2pp=-(2*pi()*15*(o2pg^2)/(120^2))*sin(2*pi()*(o2-o2i)/120);
    end
end

```

Ilustración 3-7: Matlab – Ciclo For en primera condición

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Segunda etapa

Para la segunda etapa se tiene el paro del seguidor, es decir, no tendrá desplazamiento manteniendo una cota de 150 mm, esto para que la malla se pueda desplazar con el yugo escoces y pueda realizar el serigrafiado. Así la segunda posición de leva corresponde a $120^\circ + 120^\circ$ sin ningún desplazamiento vertical, como se muestra:

```

elseif o2<270+120+120
    s2=135+0;
    s2p=0;
    s2pp=0;
end

```

Ilustración 3-8: Matlab – Ciclo For en segunda condición

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Tercera etapa

Para la última etapa se selecciona el movimiento cicloidal para el diseño de la leva, puesto que, este movimiento realiza cíclicos más rápidos y es necesario que el seguidor se eleve con mayor rapidez, para este caso las ecuaciones en elevación del movimiento respectivo.

Tabla 3 - 8: Ecuaciones de leva en movimiento cicloidal

Magnitud	Elevación
Desplazamiento	$\Delta R_i = H_0 + H_i \left[\frac{\phi_i}{\beta_i} - \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right]$
Velocidad	$V_j = \frac{H_i\omega}{\beta_i} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right]$
Aceleración	$a_j = \frac{2\pi H_i \omega^2}{2\beta_i^2} \left[\sin \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right]$

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Donde:

ΔR_i = Desplazamiento del seguidor (posición)

H_0 = Cota inicial del seguidor

H_i = Cota final del desplazamiento del seguidor

ϕ_i = Ángulo durante el intervalo de rotación en ascenso (grados)

β_i = Ángulo de rotación de la leva durante el intervalo de descenso (grados)

ω = Velocidad de la leva (grados por unidad de tiempo)

V_j = Velocidad instantánea del seguidor

a_j = Aceleración instantánea del seguidor

Remplazando los valores en la forma de elevación con los datos que ocupamos para el diseño de la leva obtenemos:

- Desplazamiento

$$\Delta R_i = H_0 + H_i \left[\frac{\phi_i}{\beta_i} - \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right] \quad (5.3)$$

$$\Delta R_i = 150 + 15 \left[\frac{\phi_i}{\beta_i} - \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right]$$

- Velocidad

$$V_j = \frac{H_i \omega}{\beta_i} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right] \quad (6.3)$$

$$V_j = \frac{150 * \omega}{\beta_i} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right]$$

- Aceleración

$$a_j = \frac{2\pi H_i \omega^2}{2\beta_i^2} \left[\sin \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right] \quad (7.3)$$

$$a_j = \frac{2\pi * 150 * \omega^2}{2\beta_i^2} \left[\sin \left(\frac{2\pi\phi_i}{\beta_i} \right) \right]$$

Al igual que en los casos anteriores, las ecuaciones formadas son reemplazadas en el programa, como se muestra en la ilustración.

```

else
s2=135+(15/2)*(1-cos(pi()*(o2-o2i-120-120)/120));
s2p=(pi()*15*o2pg/(2*120))*sin(pi()*(o2-o2i-120-120)/120);
s2pp=((pi()^2)*15*(o2pg^2)/(2*(120^2)))*cos(pi()*(o2-o2i-120-120)/120);

```

Ilustración 3-9: Matlab – Ciclo For en tercera condición

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Finalmente, el perfil de la leva con las condiciones planteadas en las tres etapas, y con su respectivo seguidor posicionado en 270° se forma en el programa, como se muestra en la ilustración.

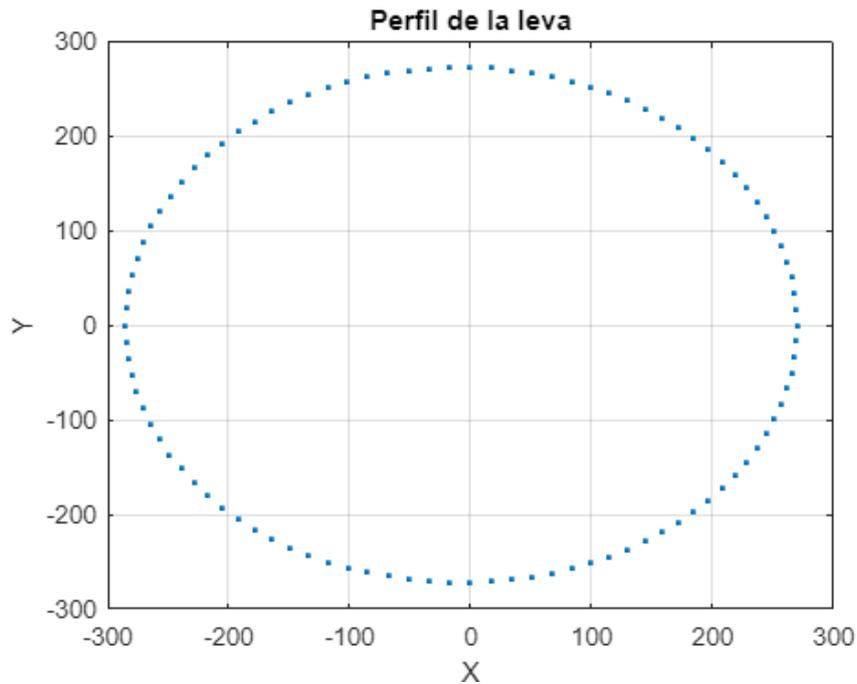


Ilustración 3-10: Matlab – Perfil de la leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La gráfica siguiente determina las leyes de movimiento empleadas según los estados de la leva, es por eso que se muestra un descenso, un estado neutral en la posición de 15 mm abajo y el ascenso a la condición inicial.

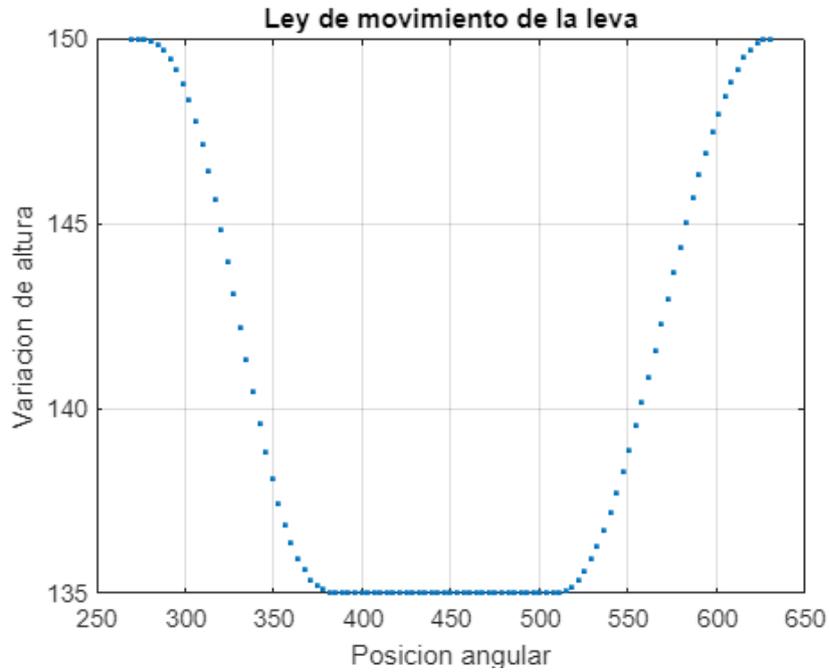


Ilustración 3-11: Matlab – Movimiento que genera la leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La rapidez con que se desempeña la leva tiene una similitud a los movimientos empleados, destacando la posición inicial de la misma y haciendo una vuelta completa, se observa un descenso de la malla lenta y un retorno a posición inicial más rápido.

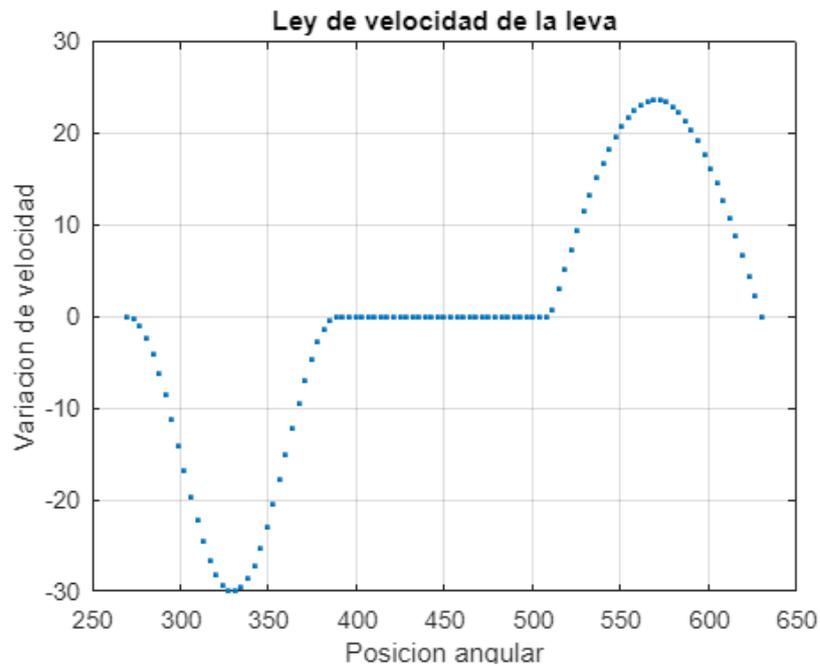


Ilustración 3-12: Matlab – Velocidades en las posiciones angulares de leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Las aceleraciones presentes en la leva son pequeñas en comparación a otras estructuras y se debe a la poca velocidad angular necesaria para la serigrafía, esta se muestra a continuación con un pico de casi 94.25 rad/s^2 .

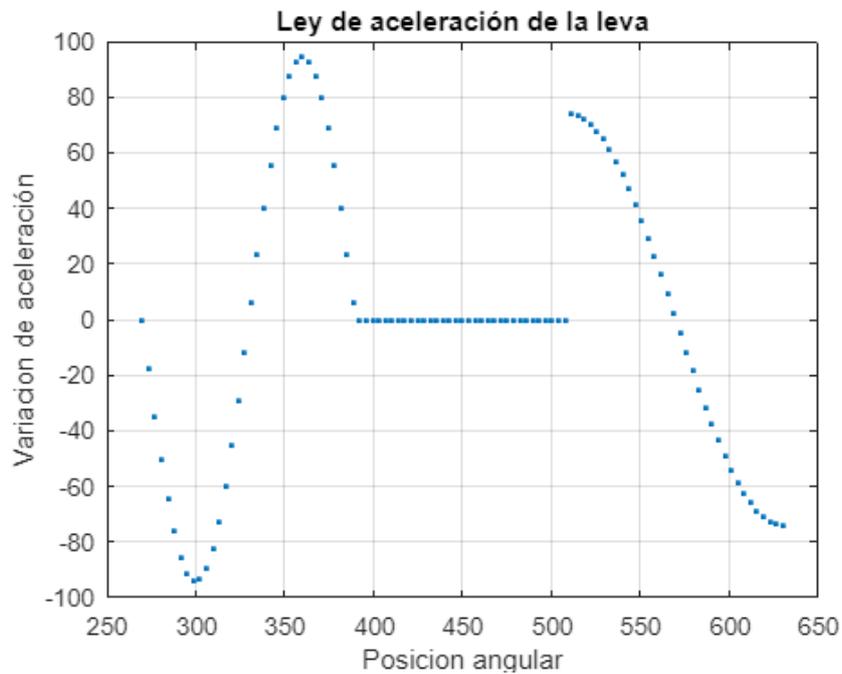


Ilustración 3-13: Matlab –Aceleraciones en las posiciones angulares de leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.4.3 Construcción de la leva.

Para el modelado de la leva es necesario la utilización del programa CAD SolidWorks. En la barra de herramientas de Toolbox se observa la construcción del mecanismo, como se muestra en la ilustración.

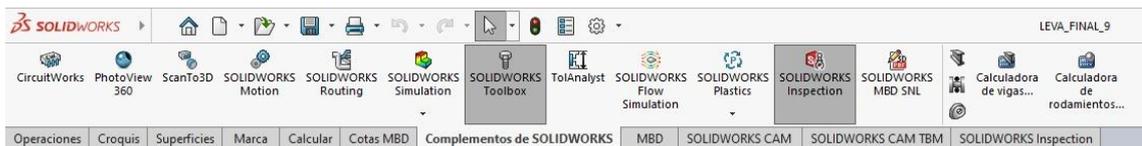


Ilustración 3-14: SolidWorks–Barra de herramientas, construcción de leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En el siguiente cuadro de diálogo se ingresan datos importantes para la construcción, tanto para la leva como para su respectivo seguidor o empujador, así:

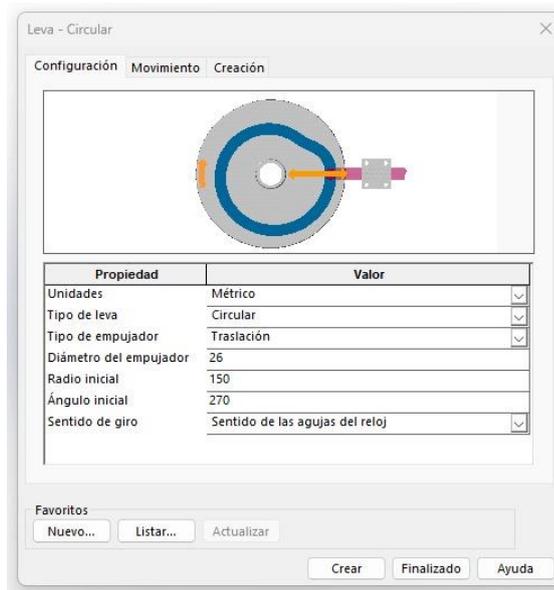


Ilustración 3-15: SolidWorks–Configuración de la leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En la pestaña de movimiento se ingresan los ciclos explicados de manera manual. Las condiciones iniciales se basan en los ángulos (Movimiento), tipo de movimiento, y el radio final (desplazamientos verticales necesarios). Algo importante a tomar en cuenta en la creación de la leva es el cierre de esta en el movimiento, es decir, se debe contemplar toda la rotación de esta en los 360°.

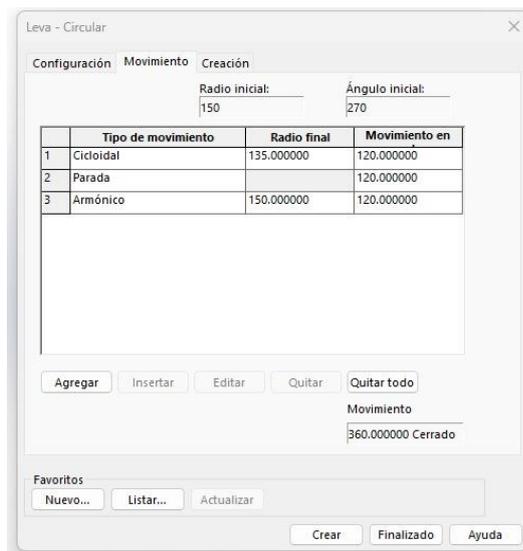


Ilustración 3-16: SolidWorks–Configuración de movimientos

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En la creación final, existen parámetros como: el espesor de la leva, el diámetro exterior, este último debe ser 160 mm, puesto que depende de la longitud de desplazamiento del yugo escocés

que finaliza en los 320 mm explicado en el apartado 3.3.4.1. La longitud del cubo del pasador central depende del espesor del material que se dispone en la fabricación, estos valores son aproximados y se concluyen en el ensamble final, pero son necesarios para obtener el perfil de la leva. Para el radio de redondeo y chaflán de la leva se contempla una longitud de 5x1 mm en toda la curva de la leva. En el apartado de diámetro del taladro, es necesario la magnitud del eje del motor, en su mayoría el eje del motor Nema 34 es de 10 mm.

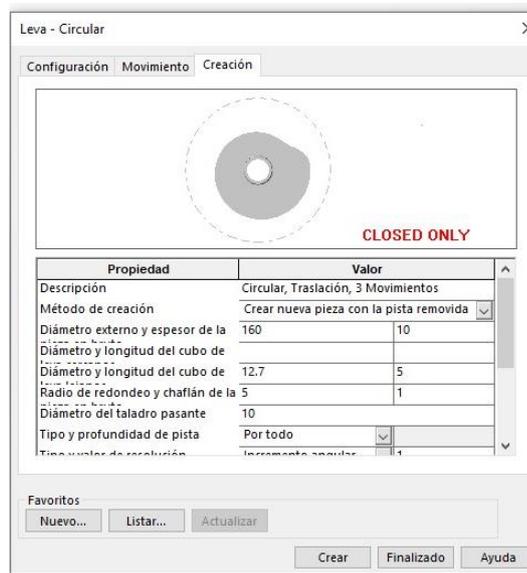


Ilustración 3-17: SolidWorks–Condiciones de creación finales

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Con todos los parámetros establecidos, la creación de la leva lleva un perfil igual al establecido de manera manual explicado anteriormente.

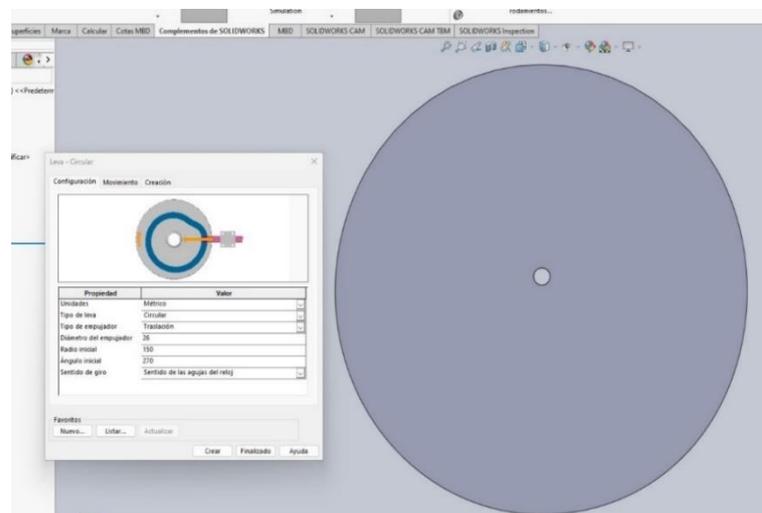


Ilustración 3-18: SolidWorks– leva establecida

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Como último paso para obtener el perfil correcto de la leva se debe llevar una línea Spline que forman el perfil para evitar partes sin unir o una uniformidad, como se observa en la ilustración:

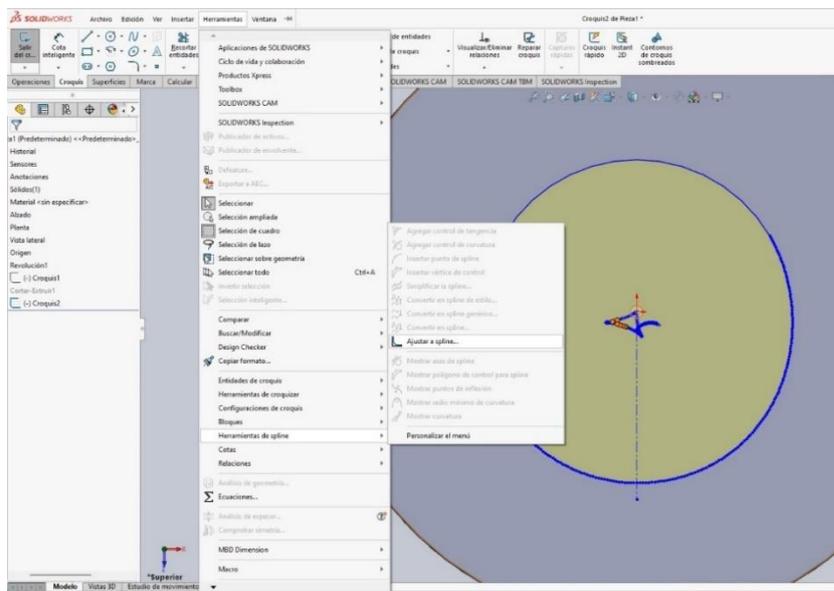


Ilustración 3-19: SolidWorks– Generación de uniformidad de la leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se observa que tiene uniformidad para el ensamble de la leva y posteriormente realizar la ranura de desplazamiento para el eje de movimiento del yugo escoces.

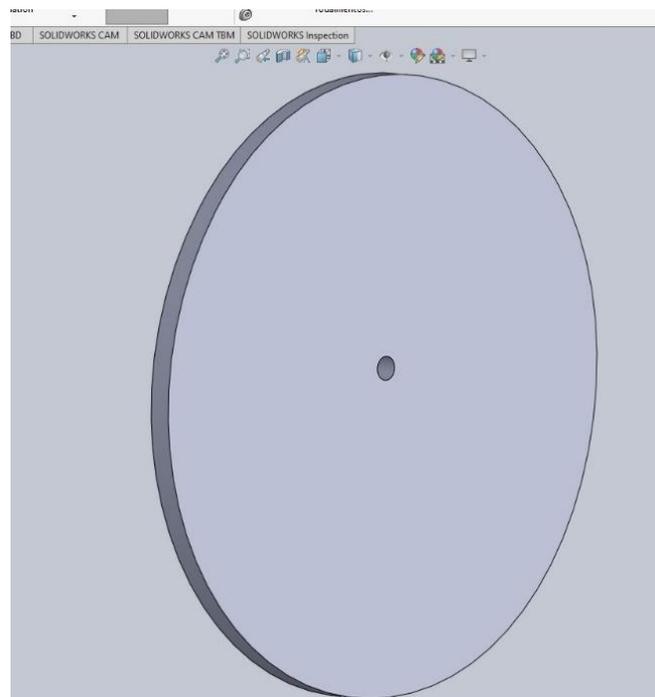


Ilustración 3-20: SolidWorks– leva final

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.5 Análisis cinemático

Este análisis se resume en el estudio de tres mecanismos principales que produce el proceso de serigrafiado, gracias a la combinación de estas en un solo mecanismo se ha evitado la utilización de más actuadores, el esquema principal va desde la unión de la leva y seguidor con un yugo escocés dentro de este, la viga de unión del seguidor genera el movimiento de ascenso y descenso del siguiente mecanismo que se lo conoce como paralelogramo, en donde genera el mismo movimiento que dos partes de la máquina con barra verticales de igual longitud, así se observa las denotaciones mostradas en la ilustración.

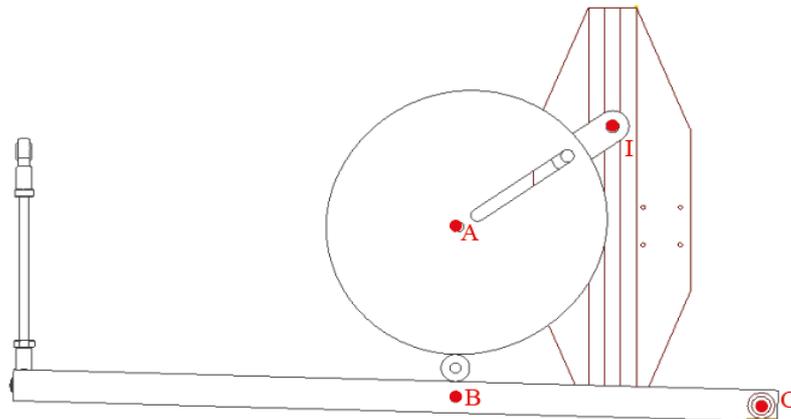


Ilustración 3-21: Esquema mecanismo leva-seguidor y yugo escocés

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El mecanismo de paralelogramo se representa en las dos barras inclinadas ED y FG que van a estar unidos a eslabones en diferentes puntos, pero que genera el mismo desplazamiento angular.

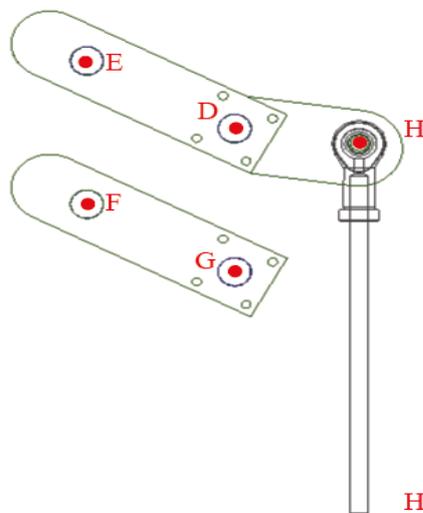


Ilustración 3-22: Esquema barra guía de la leva y mecanismo de paralelogramo

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.5.1 Mecanismo leva

En el mecanismo leva-seguidor se analiza el movimiento, mediante el uso del ensamble y características determinados en los parámetros de exigencias de la empresa. El movimiento inicial va desde el nodo C hacia el nodo B, en el punto C se tiene un apoyo libre en el eje x-y y en el punto B se encuentra el seguidor el cual permitirá que se pueda desplazar verticalmente al momento que le leva gire en sentido horario.

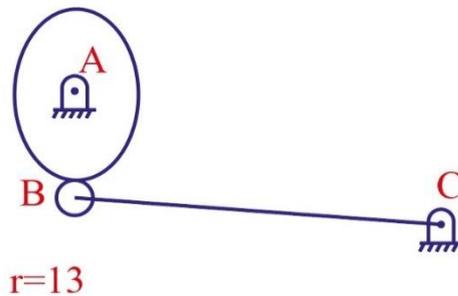


Ilustración 3-23: Diagrama leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para el análisis de posición se debe considerar la síntesis anteriormente analizada. Usando el método de Raven se construye el lazo, el ensamble permite establecer distancias fijas, considerando 290mm y 196mm, para el segmento AB se tiene que la longitud cambia por la geometría de la leva, por ende su notación es S_2 y que a su vez está relacionada con la posición angular θ_2 siempre posicionada a 270° desde el eje x positivo.

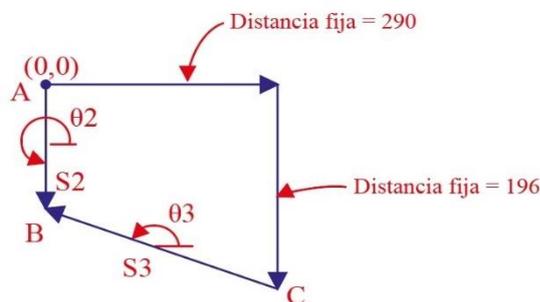


Ilustración 3-24: Lazo de mecanismo leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.5.2 Mecanismo yugo escoces

En cuanto al mecanismo de yugo escocés proporcionados en la máquina, este es el encargado del desplazamiento lateral de la malla y racle, así su gráfica de posición se resume en la longitud de la barra que une la bancada A con el riel como guía.

Por tanto, al ser barras con igual longitud $ED = FG$ y $EF = DG$, se cumple la condición.

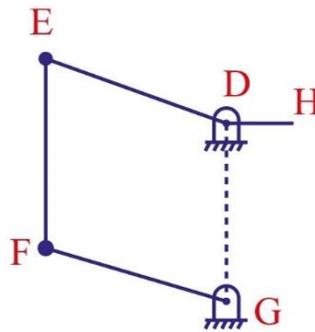


Ilustración 3-27: Lazo mecanismo paralelogramo

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se establece un análisis de posición en la barra EDH, con las longitudes y datos representados en la siguiente ilustración:

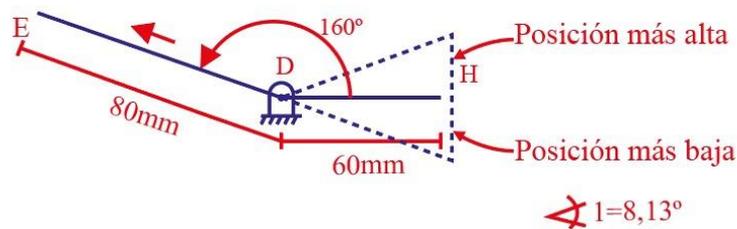


Ilustración 3-28: Barra EDH

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para la posición más alta se tiene: $PMA = 675 \text{ mm} \cdot \sin(180 - \theta_3) - PMB$; y posición más baja es: $PMB = 675 \cdot \sin(7.32^\circ)$

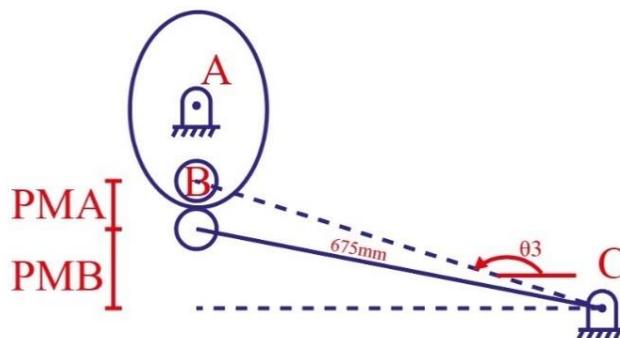


Ilustración 3-29: Puntos más altos y bajos de la leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.5.4 Posiciones

Analizando las ilustraciones de los mecanismos Leva y Yugo escocés se forman las ecuaciones correspondientes a las posiciones, con las consideraciones de barras con longitudes constantes y posiciones angulares variables, las medidas angulares se las reconoce como lagrangianos y establecen el grado de libertad de la máquina.

Lagrangianos: $S_2, \theta_2, S_3, \theta_3, S_5$ y S_6

Se debe de aclarar que las variables S_2 y θ_2 dependen cada una de la otra, como se mencionó en el mecanismo leva la posición angular θ_2 va a apuntar 270° por la naturaleza del mecanismo, por tanto, cuantitativamente es:

$$\text{Lagrangianos } \#L = 5$$

En cuanto al número de ecuaciones generadas en términos de reales e imaginarios comprobados en los lazos de control de los dos mecanismos mencionados se tiene un total de:

$$\#ecuaciones = 4.$$

Para determinar los grados de libertad del mecanismo y por ende de la cantidad de actuadores lineales o rotativos según el caso necesarios para generar el movimiento deseado se emplea la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} F &= \#L - \#ecuaciones & (9.3) \\ F &= 5 - 4 = 1 \end{aligned}$$

Donde $\#L$ establecen las variables a resolver dependiendo de los lazos de control generados, que en este caso son 2 y con el criterio de Euler genera 4 ecuaciones, así el número de actuadores $F = 1$.

Utilizando el método de Raven para la leva se genera las primeras dos ecuaciones:

$$\begin{aligned} \widehat{AB} &= \widehat{280} + \widehat{180} + \widehat{BC} \rightarrow \\ S_2 e^{j\theta_2} &= 280e^{j0} + 180e^{j270} + S_3 e^{j\theta_3} \end{aligned}$$

En el mecanismo Yugo escocés es entonces:

$$\begin{aligned} \widehat{AI} &= \widehat{S_5} + \widehat{S_4} \rightarrow \\ 170e^{j\theta_2} &= S_5 e^{j0} + S_4 e^{j90} \end{aligned}$$

La notación con números complejos de las ecuaciones generadas donde $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$, la primera parte representa la parte real y los términos acompañados por $j \sin \theta$ la parte imaginaria de las ecuaciones, así se tiene entonces:

$$S_2 \cos \theta_2 = 280 + S_3 \cos \theta_3 \quad (1)$$

$$S_2 \sin \theta_2 = -186 + S_3 \sin \theta_3 \quad (2)$$

$$170 \cos \theta_2 = S_5 \quad (3)$$

$$170 \sin \theta_2 = S_4 \quad (4)$$

3.3.5.5 Velocidades

Para la generación de las velocidades presentadas se recurre a la derivada de la posición, así

$$\begin{aligned} \dot{S}_2 e^{j\theta_2} + S_2 \dot{\theta}_2 e^{j\theta_2+90} &= \dot{S}_3 e^{j\theta_3} + S_3 \dot{\theta}_3 e^{j\theta_3+90} \\ 170 \dot{\theta}_2 e^{j\theta_2+90} &= \dot{S}_5 e^{j0} + \dot{S}_4 e^{j90} \end{aligned}$$

De igual forma que en las posiciones, el análisis de velocidad se la ha representado con la notación de parte real e imaginaria:

$$\dot{S}_2 \cos \theta_2 + S_2 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 + 90) = \dot{S}_3 \cos \theta_3 + S_3 \dot{\theta}_3 \cos(\theta_3 + 90) \quad (1')$$

$$\dot{S}_2 \sin \theta_2 + S_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 + 90) = \dot{S}_3 \sin \theta_3 + S_3 \dot{\theta}_3 \sin(\theta_3 + 90) \quad (2')$$

$$170 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 + 90) = \dot{S}_5 \quad (3')$$

$$170 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 + 90) = \dot{S}_4 \quad (4')$$

3.3.5.6 Aceleraciones

Puesto que las aceleraciones son las derivadas de la velocidad, se vuelve a llevar este proceso, así ambos mecanismos quedan representados en dos ecuaciones funcionales de aceleración que pueden reescribirse con la notación real e imaginaria.

$$\begin{aligned} \ddot{S}_2 e^{j\theta_2} + 2\dot{S}_2 \dot{\theta}_2 e^{j\theta_2+90} + S_2 \ddot{\theta}_2 e^{j\theta_2+90} + S_2 \dot{\theta}_2^2 e^{j\theta_2+180} \\ = \ddot{S}_3 e^{j\theta_3} + 2\dot{S}_3 \dot{\theta}_3 e^{j\theta_3+90} + S_3 \ddot{\theta}_3 e^{j\theta_3+90} + S_3 \dot{\theta}_3^2 e^{j\theta_3+180} \\ 170 \ddot{\theta}_2 e^{j\theta_2+90} + 170 \dot{\theta}_2^2 e^{j\theta_2+180} = \ddot{S}_5 e^{j0} + \ddot{S}_4 e^{j90} \end{aligned}$$

Notación real e imaginaria:

$$\ddot{S}_2 \cos \theta_2 + 2\dot{S}_2\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 + 90) + S_2\dot{\theta}_2^2 \cos(\theta_2 + 180) = \ddot{S}_3 \cos \theta_3 + 2\dot{S}_3\dot{\theta}_3 \cos(\theta_3 + 90) + S_3\dot{\theta}_3^2 \cos(\theta_3 + 90) + S_3\dot{\theta}_3^2 \cos(\theta_3 + 180) \quad (1'')$$

$$\ddot{S}_2 \sin \theta_2 + 2\dot{S}_2\dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 + 90) + S_2\dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_2 + 180) = \ddot{S}_3 \sin \theta_3 + 2\dot{S}_3\dot{\theta}_3 \sin(\theta_3 + 90) + S_3\dot{\theta}_3^2 \sin(\theta_3 + 90) + S_3\dot{\theta}_3^2 \sin(\theta_3 + 180) \quad (2'')$$

$$170\dot{\theta}_2^2 \cos(\theta_2 + 180) = \ddot{S}_5 \quad (3'')$$

$$170\dot{\theta}_2^2 \sin(\theta_2 + 180) = \ddot{S}_4 \quad (4'')$$

La forma de resolución utilizada en el Matlab corresponden a el método numérico de Newton Raphson, donde las variables globales corresponden a las variaciones de desplazamiento longitudinal S_2 y θ_2 y las funciones generadas en las cuatro funciones establecidas en el análisis de posición que han generado el mismo número de ecuaciones ya explicadas anteriormente.

```

global s2 o2

o3=x1(1);
s3=x1(2);
s4=x1(3);
s5=x1(4);

f(1)=s2*cosd(270)-280-s3*cosd(o3);
f(2)=s2*sind(270)+186-s3*sind(o3);
f(3)=170*cosd(o2)-s5;
f(4)=170*sind(o2)-s4;

end

```

Ilustración 3-30: Matlab – Método Newton Raphson

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.6 Análisis dinámico

El análisis dinámico nos permite analizar las aceleraciones y fuerzas presentadas en los diferentes mecanismos, en este caso se ha determinado que las aceleraciones son despreciables al ser muy pequeñas para el mecanismo, y por tanto se necesita de un análisis estático de elementos importantes. Para esto, la ilustración contempla puntos y barras a ser analizados.

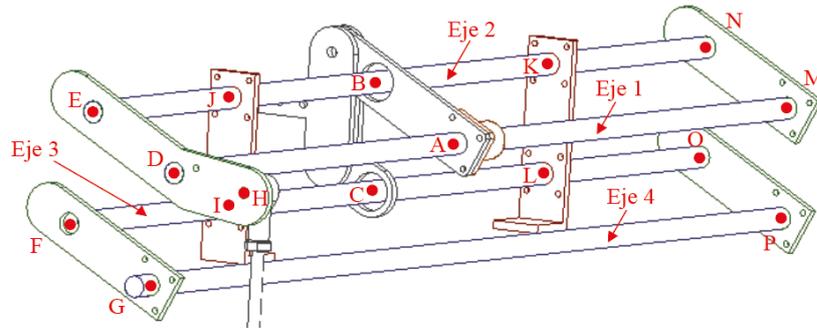


Ilustración 3-31: Esquema máquina para análisis dinámico

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.6.1 Eslabón BC de sujeción racla

Los primeros estudios se dan en los eslabones que unen el racla y la malla, en este caso y bajo experiencia de serigrafía se establece una fuerza de 1 N necesario para la rotación de la pieza y un peso total de malla y pintura de 12 N. Además, el eslabón CC es muy pequeño y se lo trata como eslabón corto.

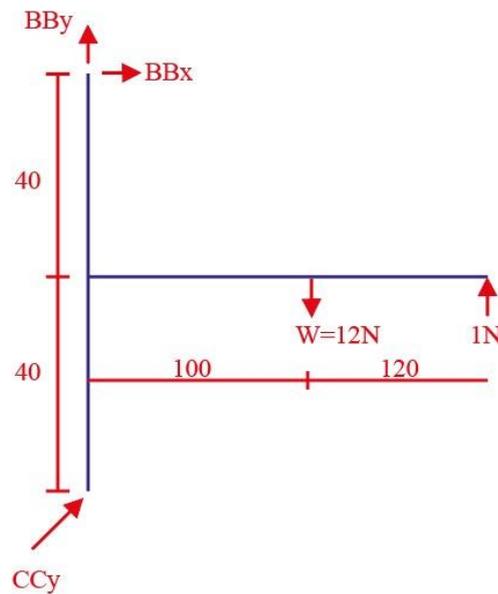


Ilustración 3-32: Diagrama de cuerpo libre eslabón BC

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sumatoria de momentos en punto CC.

$$\sum M_{CC} = 0$$

$$-BB_x(80) - 12 * (100) + 1(220) = 0$$

$$BB_x = -13,5N$$

Sumatoria de fuerzas en X.

$$\sum F_x = 0$$

$$CC_y(\cos(\alpha + 120)) = 13.5$$

Sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = 0$$

$$BB_y = -CC_y \sin(\alpha + 20)$$

3.3.6.2 Eslabón AB de unión eje 1 y 2

El eslabón de unión entre el eje 1 y 2 contiene reacciones en las sus uniones tanto en x como en y, de igual manera se coloca un peso del eslabón de 2,17 N conseguido en el CAD, así el material es un acero A36 de espesor $\frac{1}{8}$ in.

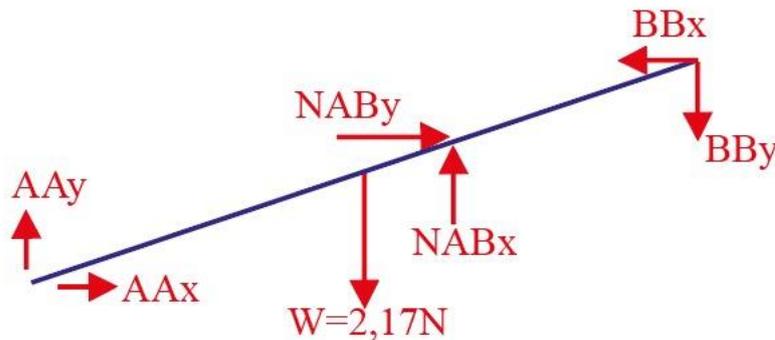


Ilustración 3-33: Diagrama de cuerpo libre eslabón AB

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sumatoria de fuerzas en X.

$$\sum F_x = 0$$

$$N_{ABx} = -13.5N$$

Sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = 0$$

$$AA_y + N_{AB_y} - BB_y - 2,17 = 0$$

Sumatoria de momentos en W.

$$\sum M_W = 0$$

$$-AA_y(55 \cos(\alpha + 20)) + N_{AB_y}(30 \cos(\alpha + 20)) + BB_x(55 \sin(\alpha + 20)) - BB_y(55 \cos(\alpha + 20)) = 0$$

3.3.6.3 Eje 3

Este eje se presenta como el más crítico teniendo cargas de la malla a una distancia de $219mm \pm S_5$ que es la variación de distancias cuando la malla se desplaza de forma lateral, el peso de la malla es de $3kg$ que se asientan sobre dos eslabones.

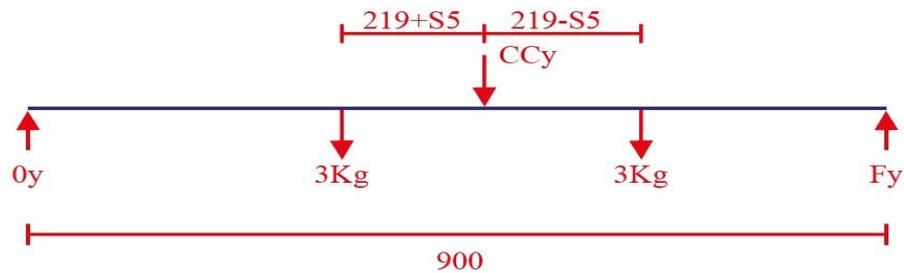


Ilustración 3-34: Diagrama de cuerpo libre eje 3

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = 0$$

$$O_y + F_y - CC_y = 0$$

Sumatoria de momentos en D.

$$\sum M_D = 0$$

$$F_y(300) - 3(219 - S_5) + 3(219 + S_5) - O_y(300) = 0$$

$$300F_y - 300O_y + 6S_5 = 0$$

3.3.6.4 Eje 2

Al igual que en el eje 3 las fuerzas contempladas en este.

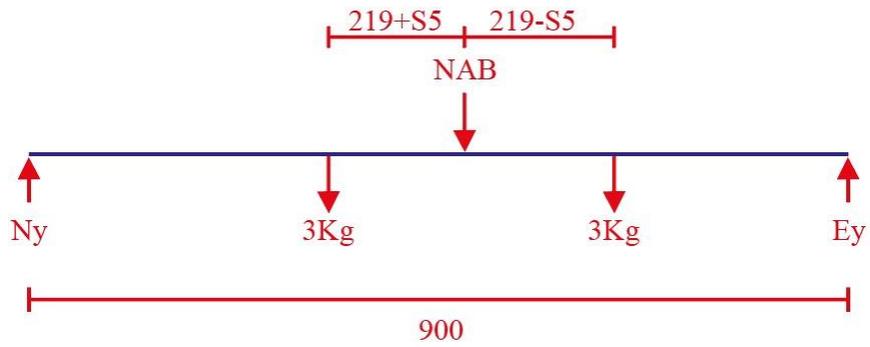


Ilustración 3-35: Diagrama de cuerpo libre eje 2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = 0$$

$$N_y + E_y - N_{AB} - 6 = 0$$

Sumatoria de momentos en el punto AB.

$$\sum M_{AB} = 0$$

$$300N_y + 300E_y + 6S_5 = 0$$

3.3.6.5 Eslabón EDH

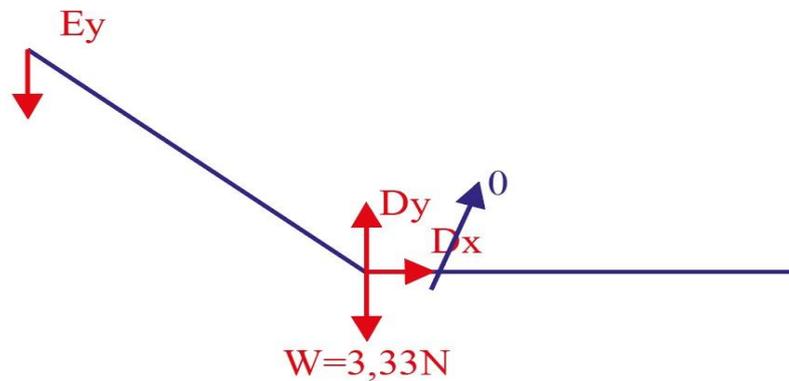


Ilustración 3-36: Diagrama de cuerpo eslabón EDH

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = 0$$

$$D_y - E_y - H - W = 0$$

Sumatoria de momentos en D.

$$\sum M_D = 0$$

$$-H(60 \cos \alpha) + E_y(80 \cos(\alpha + 20)) = 0$$

3.3.6.6 Barra HC para seguidor de leva.

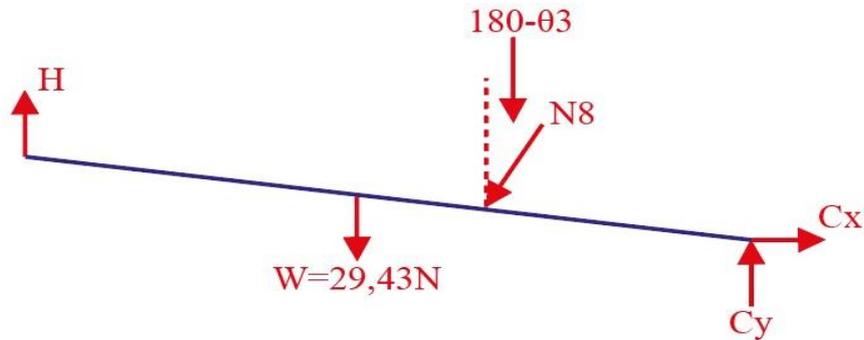


Ilustración 3-37: Diagrama de cuerpo libre barra HC

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sumatoria de fuerzas en X.

$$\sum F_x = 0$$

$$Cx - N_B \sin(180 - \theta_3) = 0$$

Sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = 0$$

$$C_y + H - N_B \cos(180 - \theta_3) - W = 0$$

Sumatoria de momentos C.

$$\sum M_C = 0$$

$$-387,5W \cos \theta_3 - N_B(S_3)(\sin(180 - \theta_3) \sin \theta_3 - \cos(180 - \theta_3) \cos \theta_3) + 675H \cos \theta_3 = 0$$

3.3.6.7 Leva

El análisis de la leva permite determinar el torque necesario para que el mecanismo pueda moverse a una velocidad constante de 20 RPM, necesario para que el ciclo de serigrafiado se

ejecute en 3 segundos, así la construcción de la leva ya determinado el perfil y el material a utilizar como lo es ASTM A36, así su masa es de 4 kg con una reacción normal establecido por el contacto del seguidor.

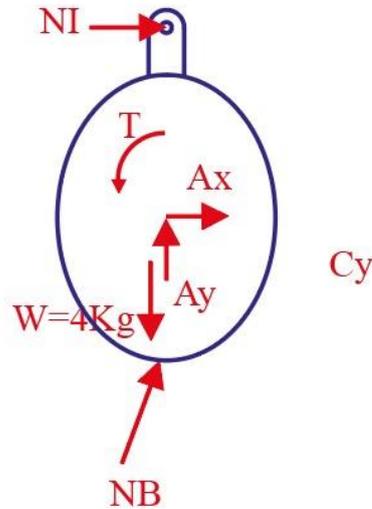


Ilustración 3-38: Diagrama de cuerpo libre leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sumatoria de fuerzas en X.

$$\sum F_x = 0$$

$$N_B \sin(180 - \theta_3) + N_I + A_x = 0$$

Sumatoria de fuerzas en Y.

$$\sum F_y = 0$$

$$-W + A_y + N_B \cos(180 - \theta_3) = 0$$

Sumatoria de momentos en A.

$$\sum M_A = 0$$

$$T + N \sin(180 - \theta_3)S_2 = 0$$

Finalmente, la resolución de las ecuaciones formadas por las sumatorias de fuerzas y momentos nos brinda el torque necesario para el movimiento en el proceso de serigrafía, siendo este el máximo y sin consideración de fuerzas de rozamiento un valor de $2,061 \text{ N} \cdot \text{m}$ en la posición

angular de la leva de 350° , conociendo esta empieza en 270° , es decir, se produce en el inicio del ciclo 2.

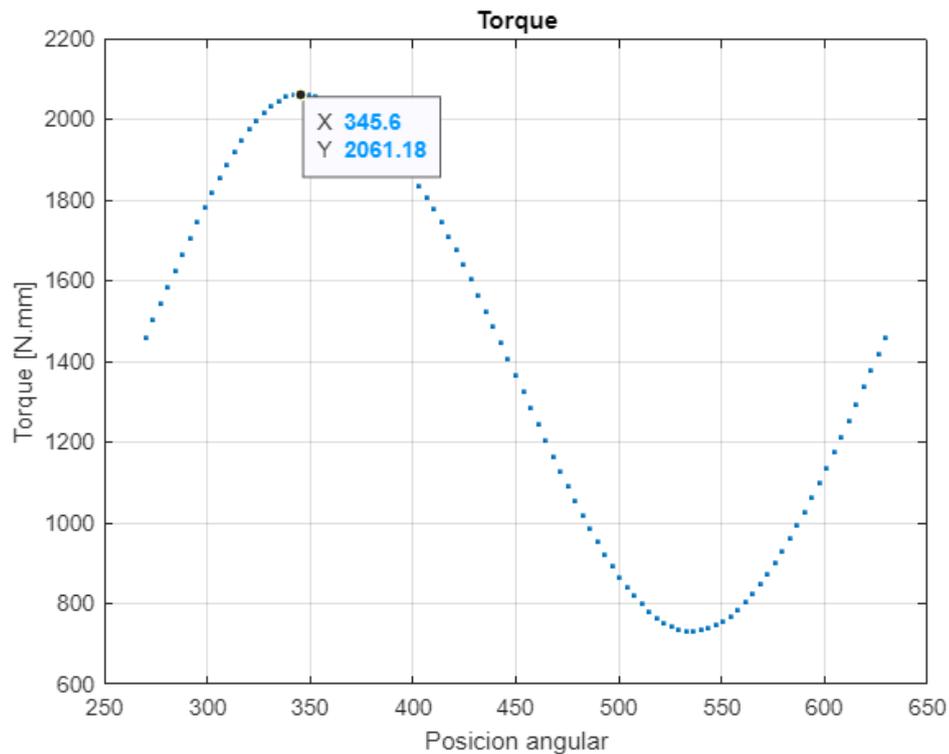


Ilustración 3-39: Matlab - Diagrama de torque en leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.6.8 Simulación dinámica

Para verificar el torque obtenido manualmente mediante el análisis cinemático y dinámico realizado, se ejecuta una simulación dinámica en el software Autodesk Inventor usando la licencia estudiantil de acceso libre, donde facilita los momentos que produce la máquina en cada junta ya diseñada.

En el modelado 3D, se designan cada uno de los materiales a utilizar en la construcción con la librería de Autodesk material library verificando que existen en el mercado directamente con el catálogo del proveedor, con esto se tendrá la densidad, masa, el área final, el volumen y el centro de gravedad que dispone la máquina.

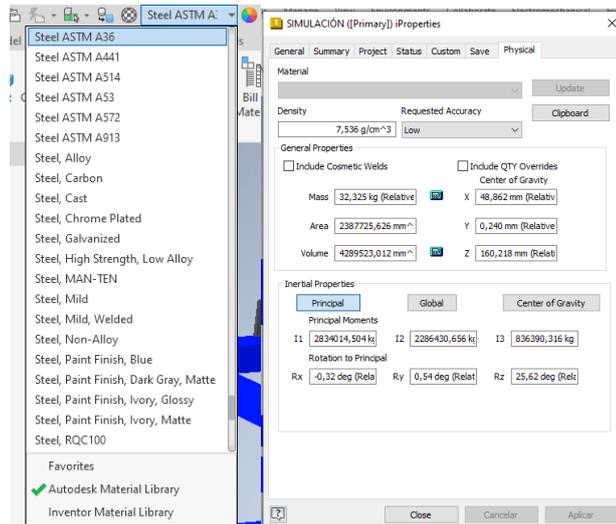


Ilustración 3-40: Asignación de materiales a los elementos

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Al tener estos parámetros de materiales se procede a ingresar en el apartado de Enviroments, Dynamic Simulation para visualizar la simulación de movimiento de la máquina con sus respectivas de traslaciones.

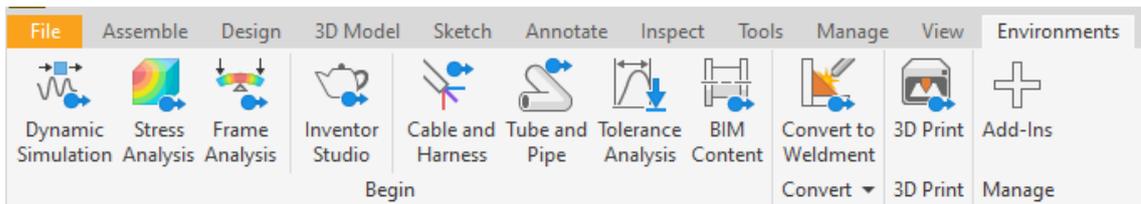


Ilustración 3-41: Modulo de simulación dinámica

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Posteriormente se verifica cada una de las juntas y que el movimiento de la máquina sea el correcto, esto para obtener los resultados con un 95% de confiabilidad, en caso de que el programa nos advierta de restricciones de grados de libertad, se debe verificar nuevamente las uniones de la máquina. La solución más práctica en caso de existir estos errores de unión es eliminando directamente desde el modelado principal para realizar esa junta en el bloque de Dynamic Simulation.

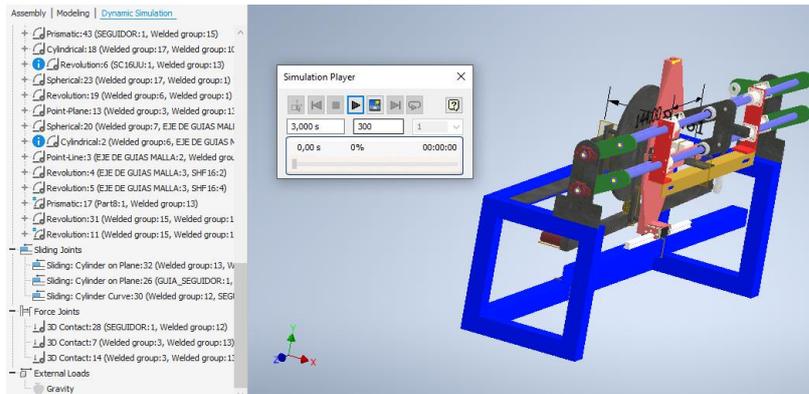


Ilustración 3-42: Juntas generadas por el inventor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Las juntas importantes para verificar en el modelado consisten en el eje que transmite el movimiento a la leva, conjuntamente a esos dos elementos se debe examinar las superficies en del yugo escocés con el eje de salida que tiene la leva, posteriormente insertar un movimiento en deslizamiento lineal con el contacto de un cilindro.

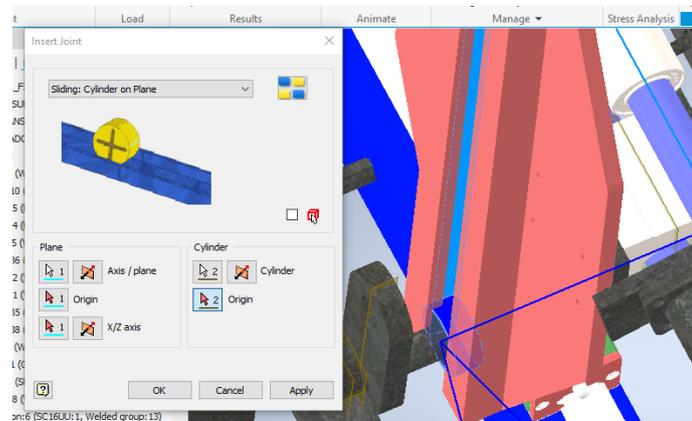


Ilustración 3-43: Juntas generadas por el inventor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Los contactos se seguirán sumando al historial de árbol de Dynamic simulation para posteriormente verificar el rozamiento de cada junta, para el coeficiente de rozamiento se considera el contacto de los materiales y el estado, en este caso se considera movimiento estático ya que las aceleraciones son pequeñas y no se tiene un peligro humano.

El factor de rozamiento que se da entre el yugo escocés y el eje de la leva siendo dos materiales de acero A36 es de 0,15 este valor será ingresado en la junta que el módulo de Dinamic Simulation nos da por defecto y esto se debe realizar en desplazamiento lineal, en los otros apartados se deshabilitan.

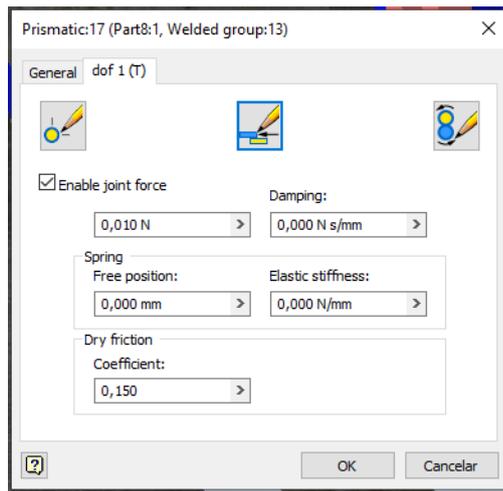


Ilustración 3-44: Factor de fricción en la junta 17

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Uno de los contactos importantes se da en la leva unida al eje principal, puesto que al estar unidos va a generar el movimiento en toda la máquina, así el estudio del torque también se remonta a ese elemento, es decir, el torque necesario ejercido por el motor en el eje; se designa una orientación en sentido horario.

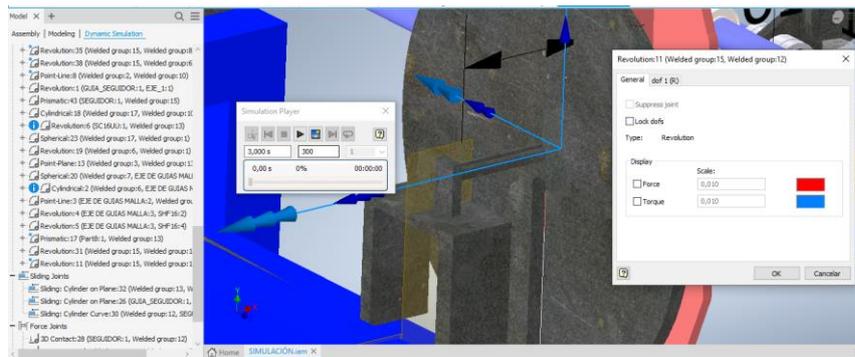


Ilustración 3-45: Movimiento rotativo de la junta 11

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En este caso el contacto revolución junta 11 es la designada y en propiedades se da la opción para la revolución, según el requerimiento de desplazamiento se necesitará en 3 segundos todo el ciclo de la máquina, es decir, se necesita un desplazamiento de 120° en 1 segundo, el programa Autodesk Inventor proporciona la velocidad del punto de unión donde se ingresa el valor mencionado.

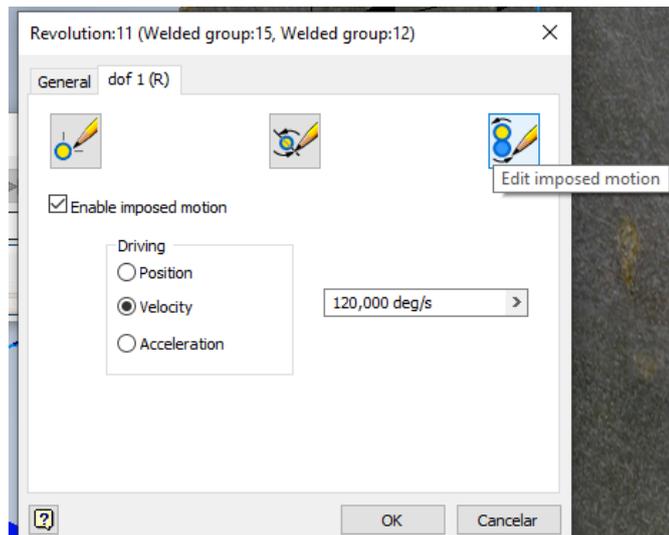


Ilustración 3-46: Velocidad de giro de la leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En la unión del seguidor con la leva se designa el contacto de Cylinder Curve, en otras palabras, el contacto de una curva la cual es la leva, con un cilindro que sería el seguidor; y se tendrá el desplazamiento requerido, esto juntamente con el giro rotatorio de leva verificando el movimiento total de la máquina.

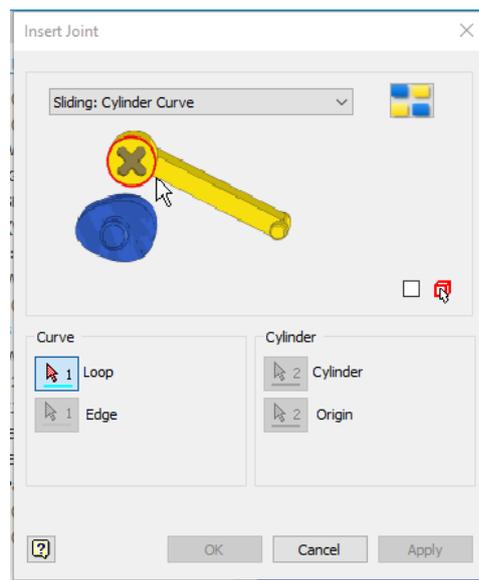


Ilustración 3-47: Junta de leva – seguidor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El rozamiento que se tendrá en este contacto al ser una junta insertada se tiene que colocar adicional un contacto 3D para poder ingresar el valor que dependerá de los materiales, siendo acero A36 y coeficiente de este de 0,15.

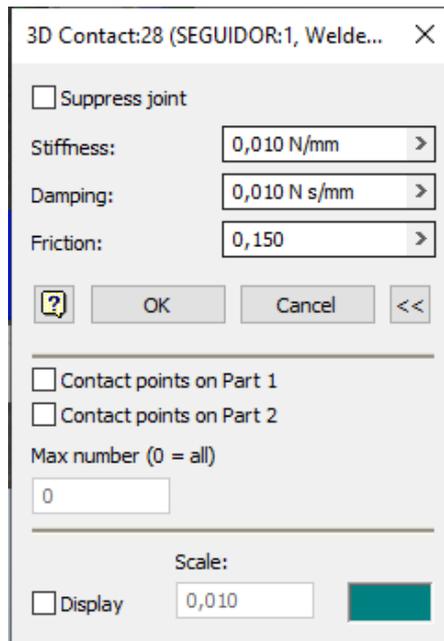


Ilustración 3-48: Factor de fricción en leva- seguidor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En la unión del seguidor con el eje se inserta la junta de Cylinder On Plane, por la naturaleza de desplazamiento que se tiene, en otras palabras, el seguidor (cilindro) gira sobre la barra plana, el factor de fricción que se tiene en esta unión es de 0,15, puesto que, son materiales A36 y se las tiene en primera instancia en un estado estático.

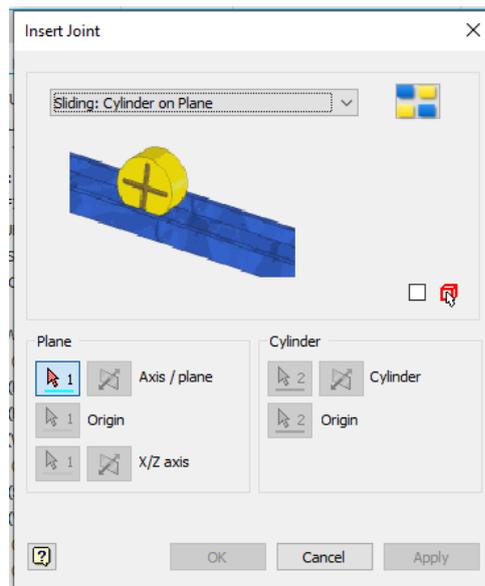


Ilustración 3-49: Junta de cilindro plane

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Los valores de fricción importantes que se tiene las juntas generadas automáticamente por el inventor se muestran en la siguiente tabla y se lo realiza con el procedimiento anteriormente descrito.

Tabla 3-9: Factores de fricción en las juntas correspondientes

Junta generada	Material de contacto	Factor de fricción
Eje de seguidor – eje elevación	A36 – A36	0,15
Eslabón HDE – eje de elevación	A36 – A36	0,15
Rodamiento lineal – eje 1	Aluminio – A36	0,25
Rodamiento lineal – eje 2	Aluminio – A36	0,25
Rodamiento lineal – eje 3	Aluminio – A36	0,25
Rodamiento lineal – eje 4	Aluminio – A36	0,25

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Adicionalmente, se debe considerar las fuerzas externas en el mecanismo, en este caso se implementa una fuerza de 1 N en el punto de la racleta, esta fuerza está dada al momento de tener el contacto con la malla en el momento de serigrafiado, siendo este en el ciclo 2 de 120° a 240°. Continuando con la simulación dinámica, se obtiene las gráficas de momento en la junta rotativa, esto se realiza con la herramienta Output Grapher, seleccionando las gráficas de los resultados que se desea visualizar y se debe correr la simulación.

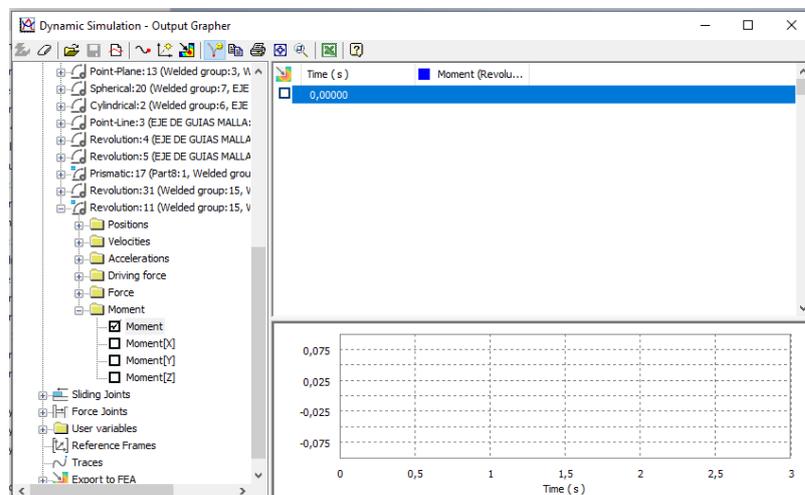


Ilustración 3-50: Momento en junta 11

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para este apartado y la verificación del torque obtenido en el análisis dinámico manualmente seleccionamos simplemente el momento en la junta 11 a la que se atribuye el momento máximo requerido para la rotación necesaria, obteniendo la siguiente gráfica.

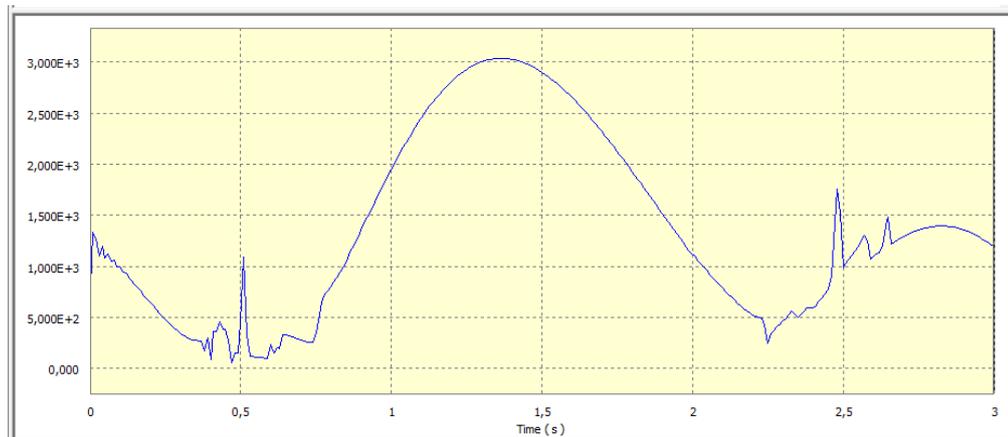


Ilustración 3-51: Grafica momento vs tiempo en junta 11

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se observa que el momento máximo obtenido es de $2,504 \text{ N} \cdot \text{m}$ en el tiempo de 1,33 segundos, este valor nos indica el torque que requiere nuestro actuador para generar el movimiento en los mecanismos de la máquina valor que se corrobora con el $2,061 \text{ N} \cdot \text{m}$, esta variación se debe ha que en el análisis dinámico manualmente no se consideró el factor de fricción, lo cual hace que el mecanismo sea analizado de forma ideal.

Export to FEA	Time (s)	Moment (Revolution:11) (N.mm)
	1,13000	2307,57000
	1,15000	2362,81000
	1,17000	2413,69000
	1,19000	2457,87000
	1,21000	2494,96000
	1,23000	2528,50000
	1,25000	2553,98000
	1,27000	2573,10000
	1,29000	2588,40000
	1,31000	2595,36000
	1,33000	2596,83000
	1,35000	2594,60000
	1,37000	2584,21000
	1,39000	2569,00000
	1,41000	2550,90000
	1,43000	2525,01000
	1,45000	2494,76000
	1,47000	2462,85000
	1,49000	2423,88000
	1,51000	2380,92000

Ilustración 3-52: Tabla de momento máximo.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.7 Diseño estructural

3.3.7.1 Diseño de eje a fatiga

Una vez determinada la estructura general de la máquina, es necesario determinar si los perfiles de ejes, eslabones y barras tienen la suficiente capacidad para soportar cargas cíclicas, para eso se determina los momentos flectores máximos y mínimos que se encuentran en el elemento más crítico, en este caso mediante el análisis dinámico es el eje 3 donde se soporta el peso de la malla y la carga dentro de esta expuesta por la pintura y otros accesorios.

Las cargas expuestas son: 29,43 N del peso de la malla por lado y 16,68 N con una aproximación de 18 N de la carga normal. Otro de los parámetros establecidos es la posición en las que se encuentran dichas cargas, estas están sujetas mediante eslabones que dependen del lagrangiano S_5 , para esto se ha tomado tres posiciones principales.

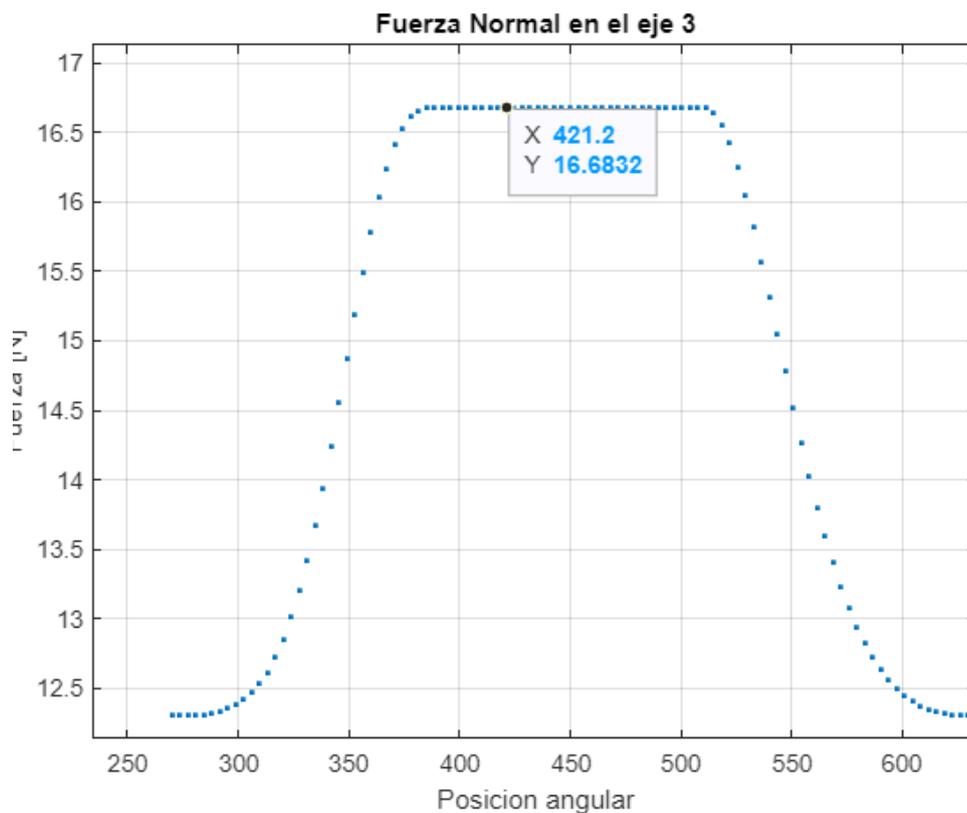


Ilustración 3-53: Fuerzas normales en el eje 3

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

- Posición 1: La malla se sitúa en la parte más externa de la izquierda de la máquina, es decir, su peso distribuido en dos puntos es: $P_1 = 219 + 170$ y $P_2 = 219 - 170$, y su carga propuesta por la resultante de la normal en la mitad.

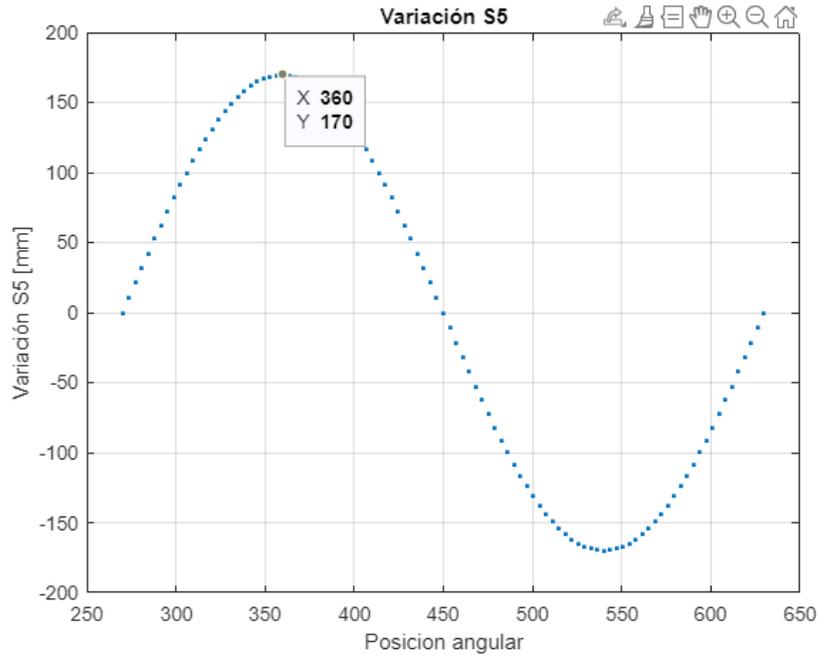


Ilustración 3-54: Posición 1 de la malla por yugo escocés

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

- Posición 2: La malla se sitúa en la parte más externa de la derecha de la máquina, es decir, su peso distribuido en dos puntos es: $P_1 = 219 - 170 + 450$ y $P_2 = 219 + 170$, y su carga propuesta por la resultante de la normal en la mitad.

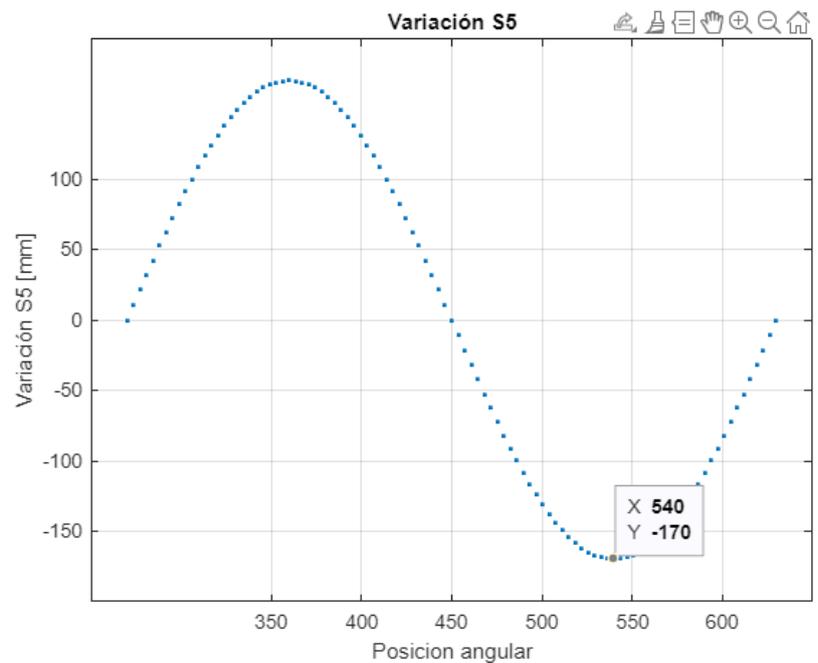


Ilustración 3-55: Posición 2 de la malla por yugo escocés

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

- Posición 3: La malla se sitúa en la mitad del eje 3, es decir, su peso distribuido en dos puntos es: $P_1 = 219$ y $P_2 = 219$, y su carga propuesta por la resultante de la normal en la mitad.

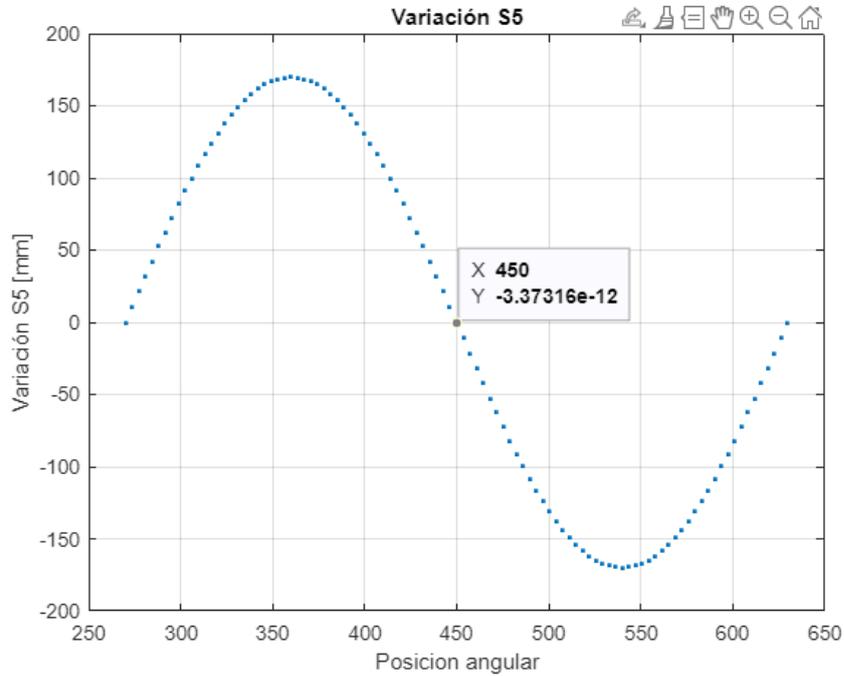


Ilustración 3-56: Posición 3 de la malla por yugo escocés

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se analiza entonces todos los esfuerzos delimitados por las posiciones de la malla y la fuerza normal máxima aplicada al eje. Mediante la utilización de los diagramas de fuerza cortante y momento flector se obtiene los momentos necesarios para determinar el diámetro necesario.

- Posición 1

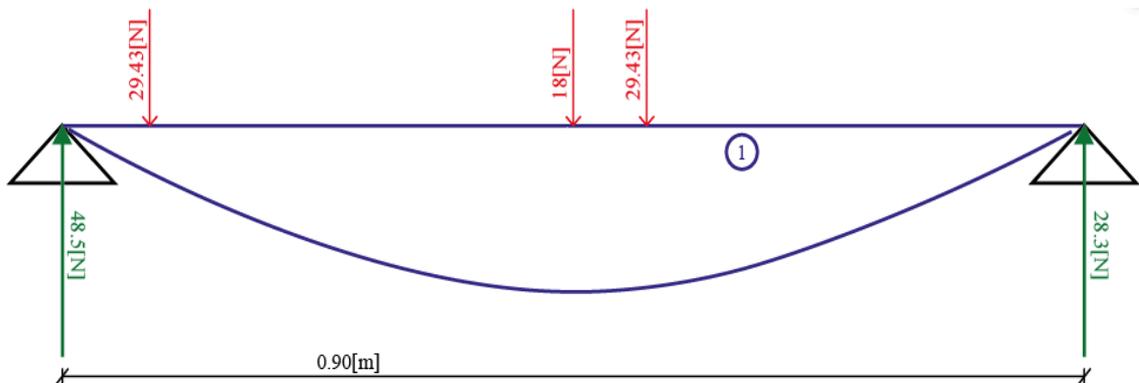


Ilustración 3-57: Eje 3 sometido a fuerzas puntuales en la posición 1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

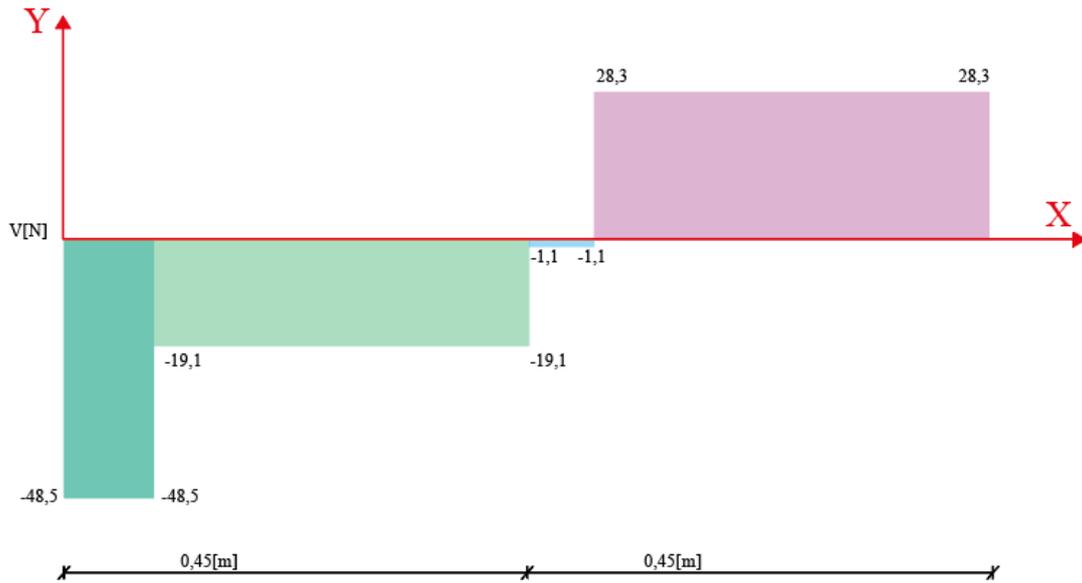


Ilustración 3-58: Diagrama de fuerzas cortantes en la posición 1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

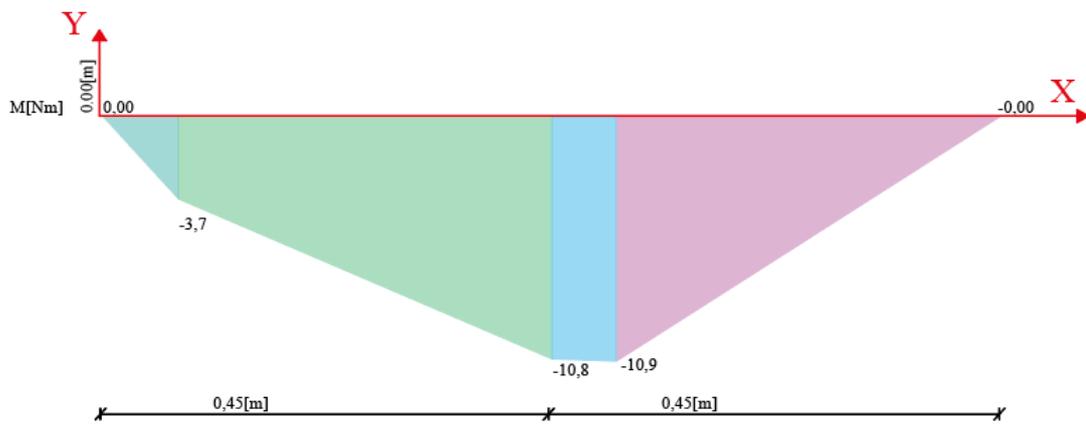


Ilustración 3-59: Diagrama de Momentos flectores en la posición 1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

- Posición 2

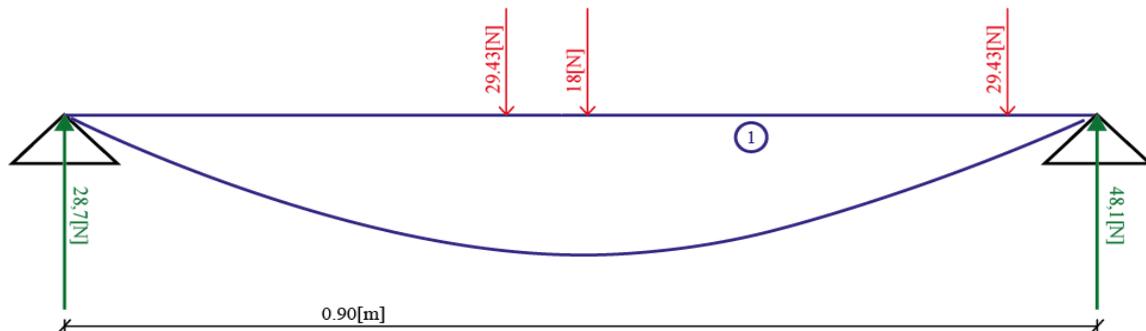


Ilustración 3-60: Eje 3 sometido a fuerzas puntuales en la posición 2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

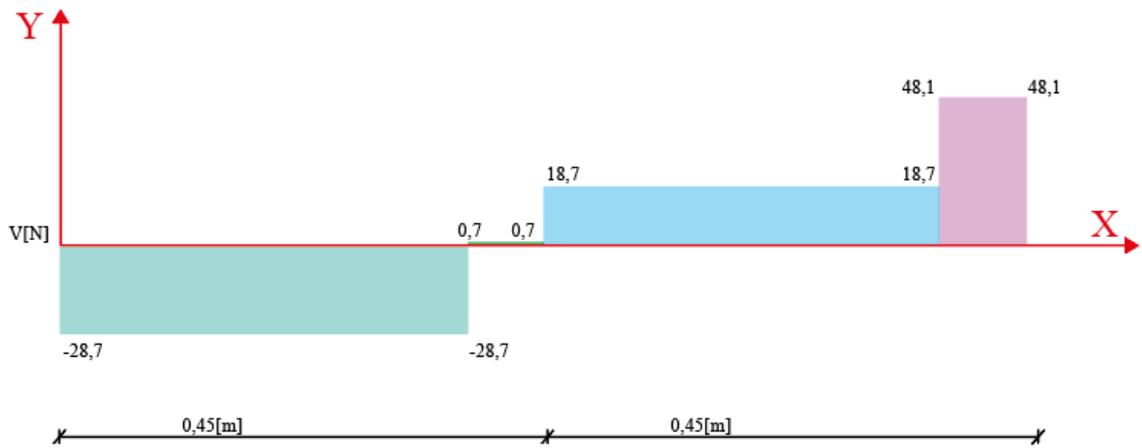


Ilustración 3-61: Diagrama de fuerzas cortantes en la posición 2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

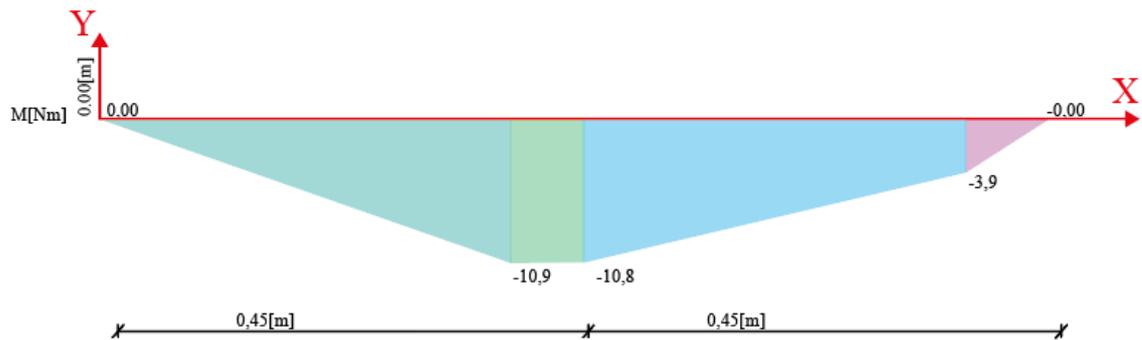


Ilustración 3-62: Diagrama de Momentos flectores en la posición 2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

- Posición 3

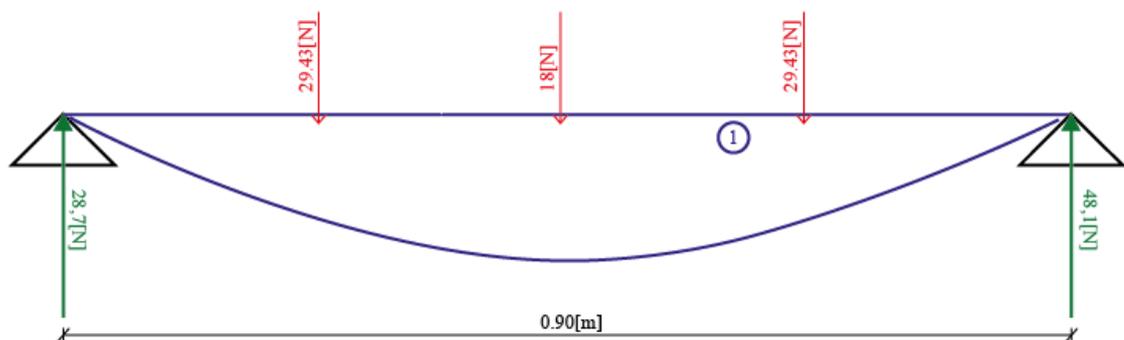


Ilustración 3-63: Eje 3 sometido a fuerzas puntuales en la posición 3

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

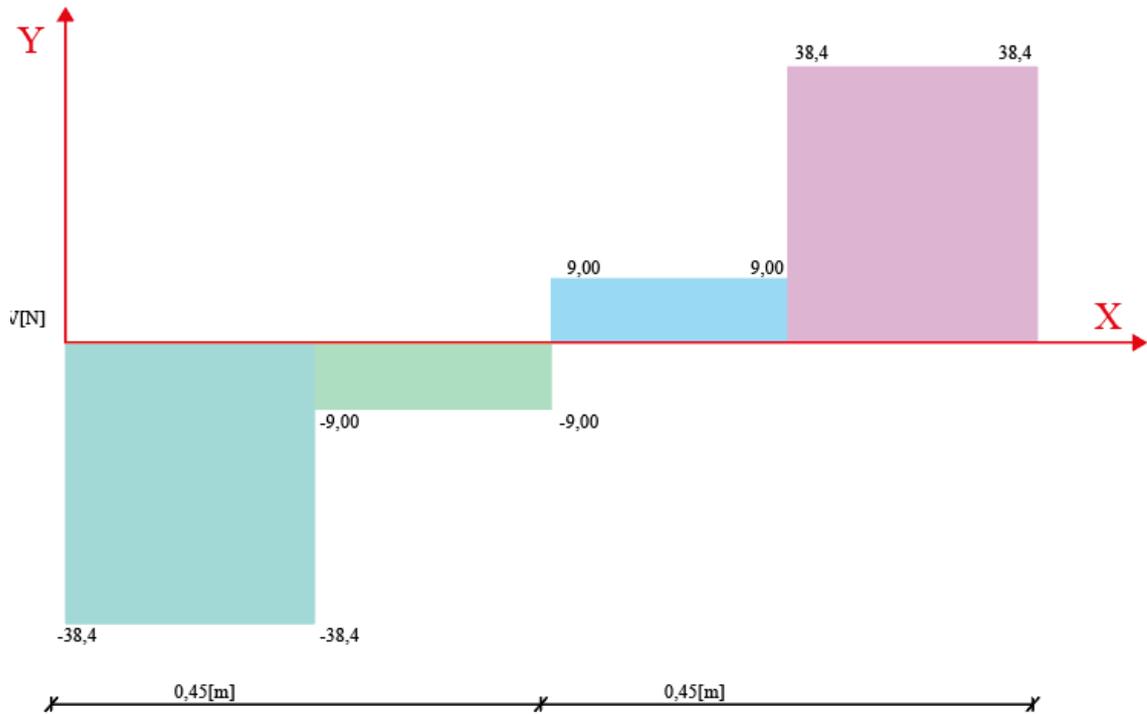


Ilustración 3-64: Diagrama de fuerzas cortantes en la posición 3

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

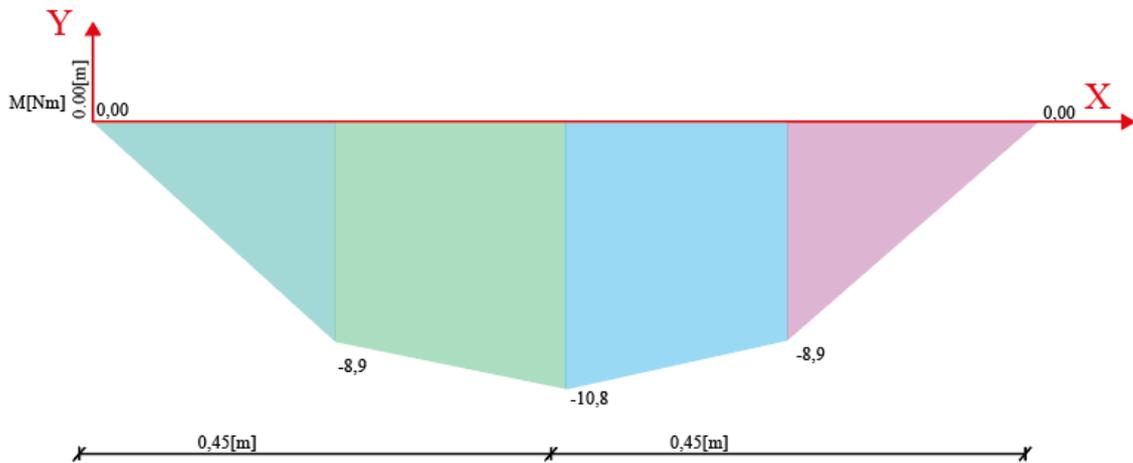


Ilustración 3-65: Diagrama de Momentos flectores en la posición 2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El esfuerzo en el centro del eje no varía debido a que la fuerza permanece constante durante la impresión, por lo que los cambios se notan en los extremos de la máquina, aunque tampoco son muy variantes. Por ello, y para estar del lado de la seguridad se define lo siguiente:

$$M_{min} = 3,7 \text{ N} \cdot \text{m} = 3,7 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{max} = 10,8 \text{ N} \cdot \text{m} = 10,8 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Sabiendo que:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (10.3)$$

Entonces:

$$\begin{aligned}\sigma_{min} &= \frac{32 M_{min}}{\pi d^3} = \frac{32 (3,7 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} \\ \sigma_{min} &= \frac{(118,4 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} \\ \sigma_{max} &= \frac{32 M_{max}}{\pi d^3} = \frac{32 (10,8 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} \\ \sigma_{max} &= \frac{(345,6 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3}\end{aligned}$$

Además,

$$\begin{aligned}\sigma_m &= \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (11.3) \\ \sigma_m &= \frac{\left(\frac{(345,6 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} + \frac{(118,4 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} \right)}{2} \\ \sigma_m &= \frac{(232 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} \\ \sigma_a &= \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (12.3) \\ \sigma_a &= \frac{\left(\frac{(345,6 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} - \frac{(118,4 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3} \right)}{2} \\ \sigma_a &= \frac{(113,6 \times 10^3 N \cdot mm)}{d^3}\end{aligned}$$

Mediante el uso de una teoría de Soderberg que se destina para esfuerzos fluctuantes, se determina el diámetro necesario para los ejes críticos, con la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{\eta} \quad (13.3)$$

Consideraciones que tomar en cuenta:

- Factor de seguridad de $\eta = 4$
- Material del eje: ASTM A36
- $S_y = 250 \text{ MPa}$

- $S_{ut} = 400 \text{ MPa}$

El valor de S_e' se calcula para vida infinita para los distintos esfuerzos.

$$S_e' = 0,5S_{ut} \quad \text{Flexión pura} \quad (14.3)$$

$$S_e' = 0,45S_{ut} \quad \text{Tracción pura} \quad (15.3)$$

$$S_e' = 0,29S_{ut} \quad \text{Torsión pura, Cizalla} \quad (16.3)$$

$$S_e = k S_e'(S_{ut}) \quad (17.3)$$

Factor de modificación de Marín: $k = 0,6$

$$S_e = 0,6 S_e'(S_{ut})$$

$$S_e = 0,6 (0,5)(400 \text{ MPa})$$

$$S_e = 120 \text{ MPa}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$\frac{(113,6 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm})}{(120 \text{ MPa})d^3} + \frac{(232 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm})}{(250 \text{ MPa})d^3} = \frac{1}{4}$$

$$d = 12,75 \text{ mm}$$

El diámetro seleccionado va de la mano de la seguridad, como el análisis se ha analizado de manera estática se han despreciado fuerzas inerciales como la fricción en los dos sentidos, por tanto, el factor de seguridad es de 4, conociendo eso, los catálogos nos proporcionan medidas que van $12 \leq d \leq 16 \text{ mm}$, y por tanto se selecciona un eje de 16 mm de diámetro.

3.3.8 *Diseño de eslabones mediante análisis CAE*

Puesto que resulta complicado realizar un análisis barra por barra debido a las restricciones físicas de contorno y las idealizaciones que se deben suponer para que se realice la simulación, así como, el error que se va acarreado si se realiza mediante ingreso de valores de cálculo manual (algo que no se recomienda, ya que se estaría combinando el método manual con el método del elemento finito siendo los campos completamente distintos) se propone el uso del mecanismo ensamblado, siendo cuidadosos con la calidad de malla que recomienda el Element Quality ($> 75\%$), y además, teniendo en cuenta los contactos, dado que por defecto se consideran soldados (Bonded), que no son reales, puesto que algunos están en condiciones simplemente apoyadas y demás.

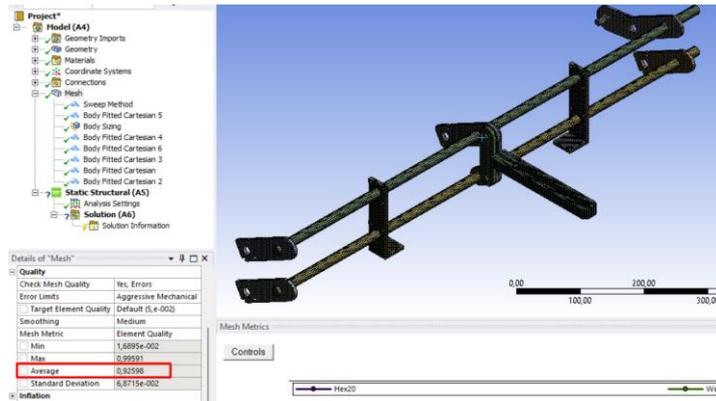


Ilustración 3-66: Ansys - Calidad de malla

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Verificando una calidad de malla del 92.598% se puede dar por válidos los resultados dentro del rango de un factor de seguridad $\eta \geq 4$, como lo explicado en el cálculo manual, para sobrellevar aspectos externos.

Ahora, para el análisis de elementos finitos MEF se debe evaluar correctamente las condiciones físicas a las que trabajará el sistema. En cuanto a los contactos, se puede decir que teóricamente tendrá un buen acabado superficial por lo que se considera que no habrá fricción siendo posible utilizar el contacto “No Separation” que asegura un contacto normal y un libre desplazamiento.

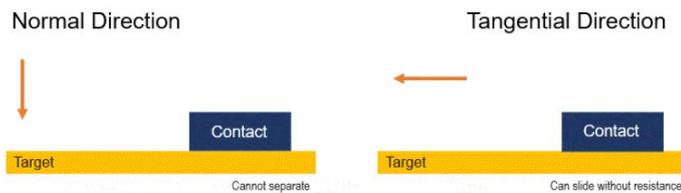


Ilustración 3-67: Contacto “No Separation”

Fuente: (MECHHEAD,2021)

Los siguientes eslabones se basan en el criterio mencionado, ilustrando el eslabón AB con el eje.

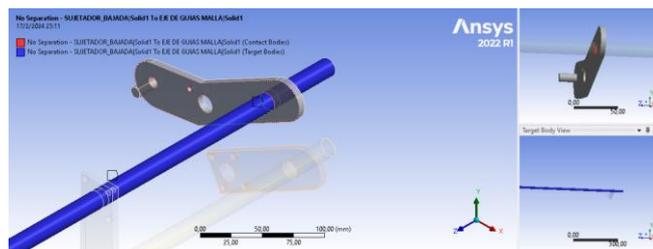


Ilustración 3-68: Ansys - No separation 1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En la siguiente tabla se describe las conexiones que se realizó de cada eslabón con el eje correspondiente considerando la denominación de la ilustración 3-31.

Tabla 3-10: Conexiones en cada eslabón

Eje	Eslabón	Punto de contacto	Tipo de contacto
Eje 1	AB	A	No separation 1
Eje 2	EDH	H	No separation 2
Eje 2	MN	N	No separation 3
Eje 2	JI	J	No separation 4
Eje 2	KL	K	No separation 5
Eje 2	BA	B	No separation 6
Eje 3	FG	F	No separation 7
Eje 3	OP	O	No separation 8
Eje 3	KL	L	No separation 9
Eje 3	JI	I	No separation 10
Eje 3	C	C	No separation 11
PASADOR 1	S	S	No separation 12
PASADOR 2	T	T	No separation 13

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En cuanto a la mesa de impresión, el eslabón de acoplador del mecanismo central se encuentra soldado con una placa saliente, para ello, se requiere del uso del contacto “Bonded” que asegura un contacto normal y un libre nulo.

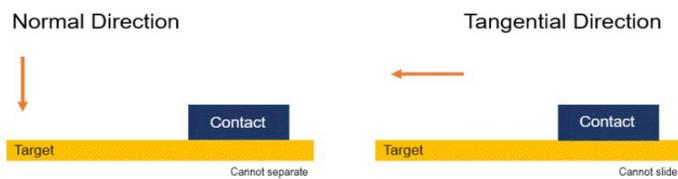


Ilustración 3-69: Contacto “Bonded” del Ansys.

Fuente: (MECHEAD,2021)

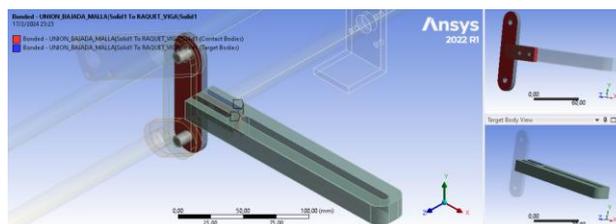


Ilustración 3-70: Ansys – Bonded 1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Asimismo, se puede evidenciar que en el mecanismo central el acoplador al unirse con sus balancines requiere de un pasador de corte que permita la rotación sobre un mismo eje, mientras ambas revolutas se encuentren concéntricas, para ello se hará uso de un contacto beam que realiza esta acción.

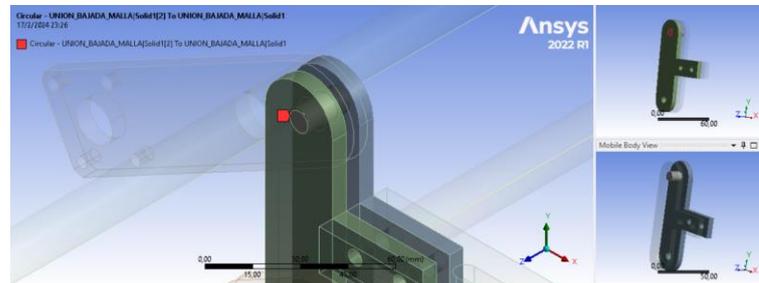


Ilustración 3-71: Ansys – Beam 1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

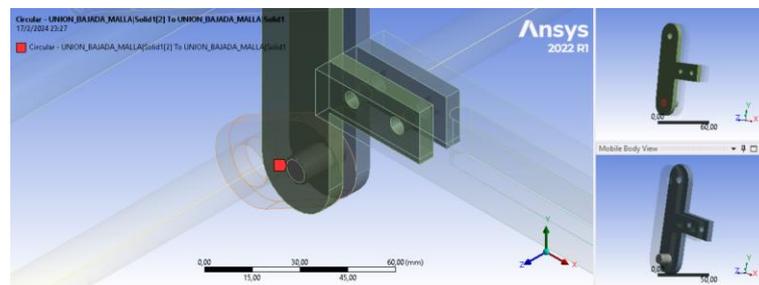


Ilustración 3-72: Ansys – Beam 2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Ahora, definido las condiciones físicas del mecanismo se puede proceder a las restricciones de contorno del sistema, sabiendo que está sujeto por chumaceras en ciertos puntos de apoyo, se puede definir esta restricción como un “Cylindrical Support” con un desplazamiento libre en el sentido tangencial para que permita la rotación, pero restringido en el sentido radial y axial para evitar el desplazamiento, como se muestra en la siguiente ilustración:

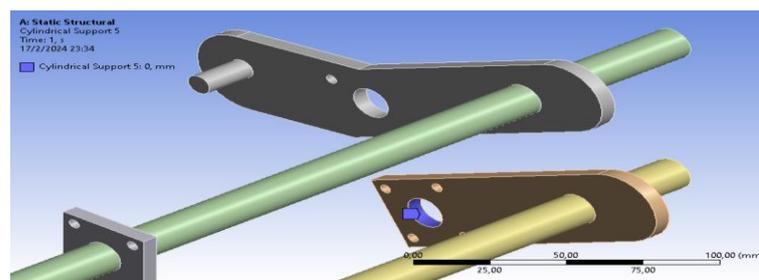


Ilustración 3-73: Ansys - Cylindrical Support 5

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Al observar la ilustración del Cylindrical Support 5, se puede ver el pin donde se acopla el eslabón por donde llega la potencia de la leva por lo que para determinar la fuerza que se genera ahí se puede definir un “displacement” donde se restrinja todos los movimientos.

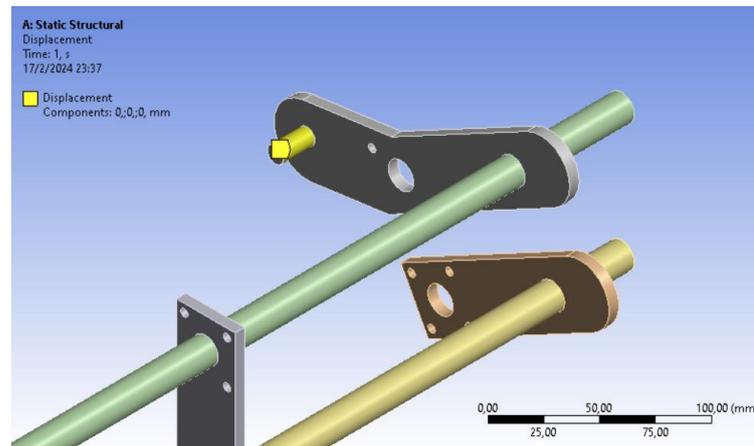


Ilustración 3-74: Ansys - Displacement

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En la siguiente tabla se describe los eslabones y los puntos necesarios de la maquina donde es necesario aplicar una chumacera y existe restricción Cylindrical Support ya que es un proceso repetitivo como ejemplo se observa en la ilustración 3-91 y de referencia de los eslabones la ilustración 3-31

Tabla 3-11: Elementos con contacto Cylindrical Support

Eslabón	Punto de contacto	Tipo de contacto
MN	M	Cylindrical Support 1
OP	P	Cylindrical Support 2
AB	A	Cylindrical Support 3
EDH	D	Cylindrical Support 4
FG	G	Cylindrical Support 5

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Al realizar un análisis estático no se puede modificar la posición del mecanismo, sabiendo que el peso de la mesa es de “3Kg” por cada sujetador, para solventar la rotación se considerará un peso de “5Kg” por sujetador.

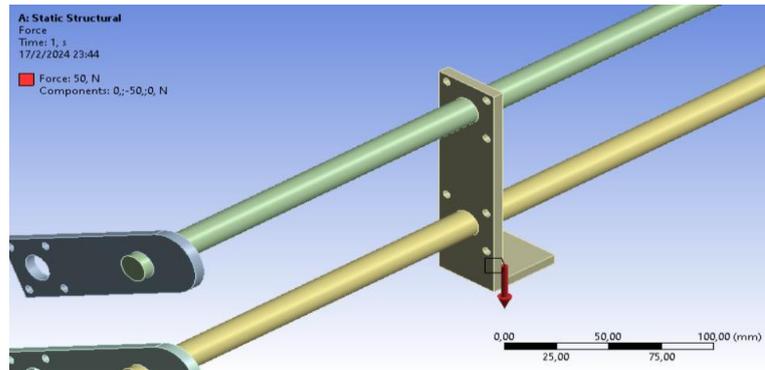


Ilustración 3-75: Ansys – Fuerza sujetador 1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En la siguiente imagen se observa la aplicación del peso de “5kg” en el sujetador 2

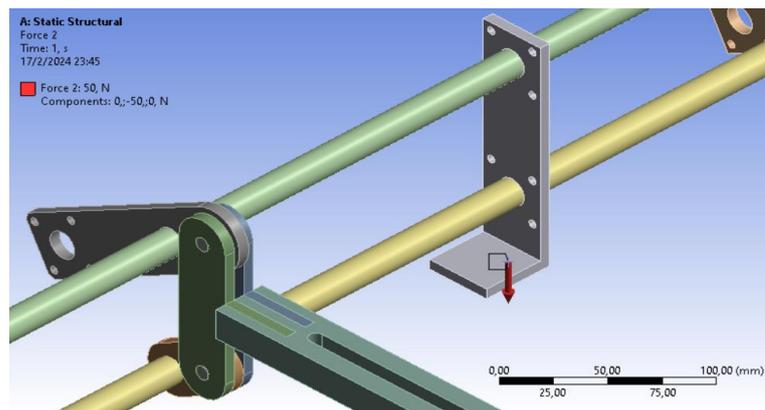


Ilustración 3-76: Ansys - Fuerza sujetador 2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

De igual forma se coloca la fuerza de impresión de 1N en el extremo del brazo

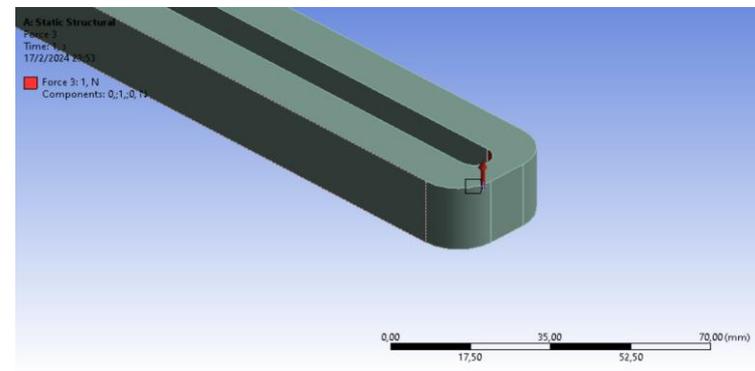


Ilustración 3-77: Ansys - Fuerza de impresión

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Considerando la acción de la gravedad para el peso de todo el sistema, se tiene el siguiente resumen de las restricciones del sistema.

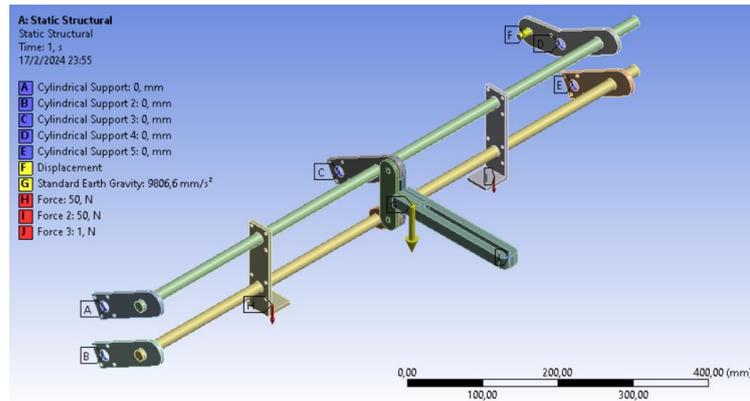


Ilustración 3-78: Ansys – Restricciones del sistema

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Por lo tanto, y sabiendo que actualmente se propone para la construcción una plancha de 6mm, el sistema se tienen los siguientes resultados.

- Deformación

Se tiene una deformación en el extremo más alejado (y por lo tanto el más crítico) de 1.085mm, indicando una deformación un pequeña lo que resulta despreciable.

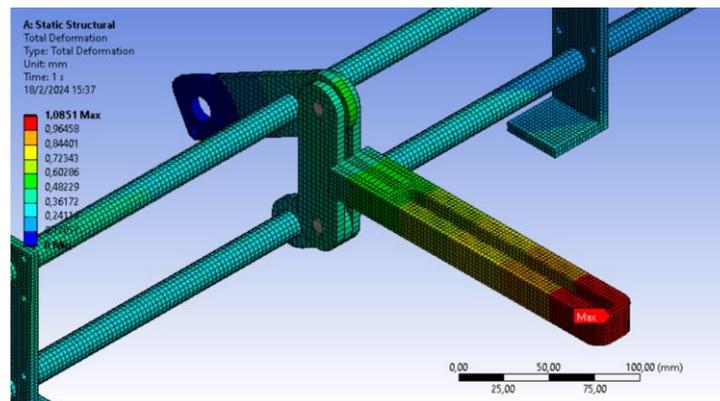


Ilustración 3-79: Ansys – Deformación en 6mm de espesor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

- Factor de seguridad

Siendo que las fuerzas son muy pequeñas el sistema no sufre esfuerzos elevados, lo que resulta lógico admitir el sobredimensionamiento del mecanismo en general, sin contemplar aspectos físicos de los elementos como condiciones de materiales, medioambientales, etc.

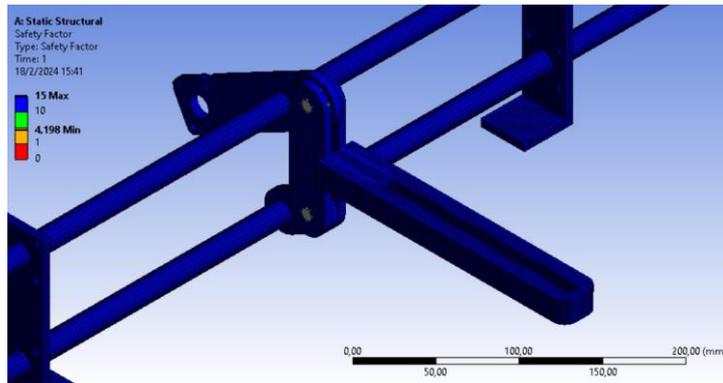


Ilustración 3-80: Ansys – Factor de seguridad en 6mm de espesor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se puede evidenciar que el menor factor de seguridad se debe a singularidades del sistema.

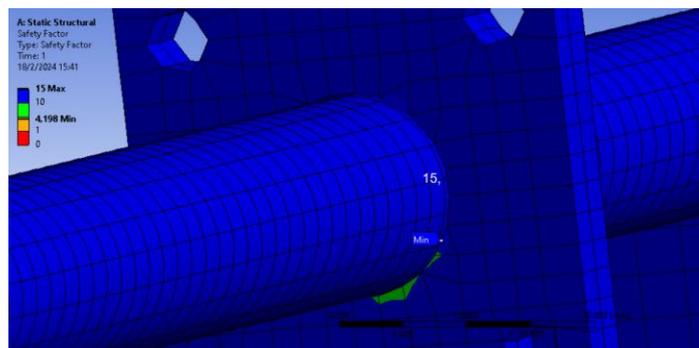


Ilustración 3-81: Ansys – Singularidades en factor de seguridad

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sin embargo, en el mercado se pueden encontrar planchas de 3mm de espesor como mínimo, se toma en cuenta esta consideración para la siguiente iteración.

Segunda Iteración

En la segunda iteración se contempla un espesor mucho menor al establecido en la primera etapa, en este caso el espesor de los eslabones es de 3mm y se considera no menos a este para evitar pandeo, así se determina los mismos parámetros como deformación, factor de seguridad y algunas singularidades que pueden presentarse en el análisis CAE.

- Deformación

Se tiene una deformación en el extremo más alejado (y por lo tanto el más crítico) de 1.433mm, indicando una deformación un pequeña lo que resulta despreciable

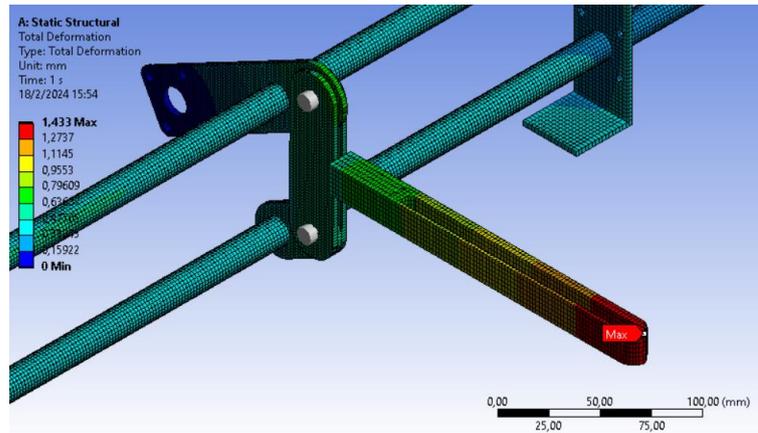


Ilustración 3-82: Ansys – Deformación en 3mm de espesor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

- Factor de seguridad

Siendo que las fuerzas son muy pequeñas el sistema no sufre esfuerzos elevados por lo que resulta lógico que se tenga un sistema sobredimensionado

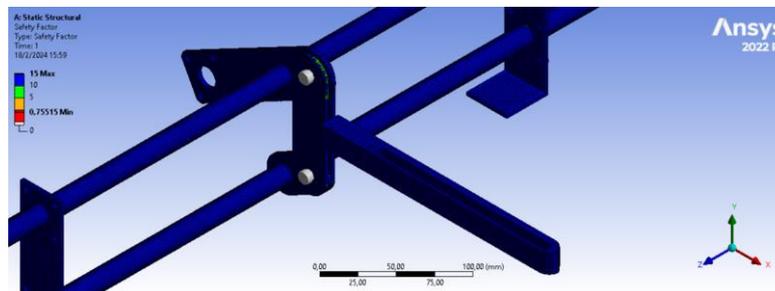


Ilustración 3-83: Ansys – Factor de seguridad en 3mm de espesor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se puede evidenciar que el menor factor de seguridad se debe a singularidades del sistema.

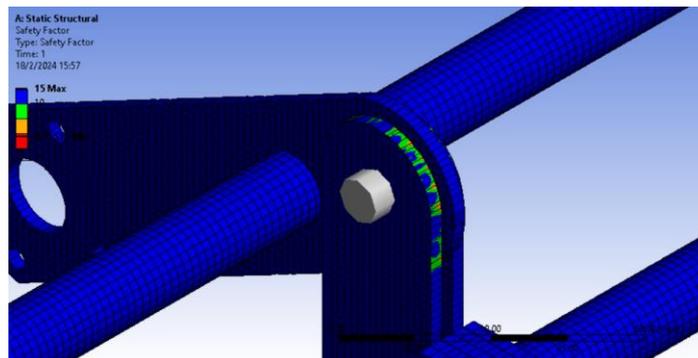


Ilustración 3-84: Ansys – Singularidades en factor de seguridad

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

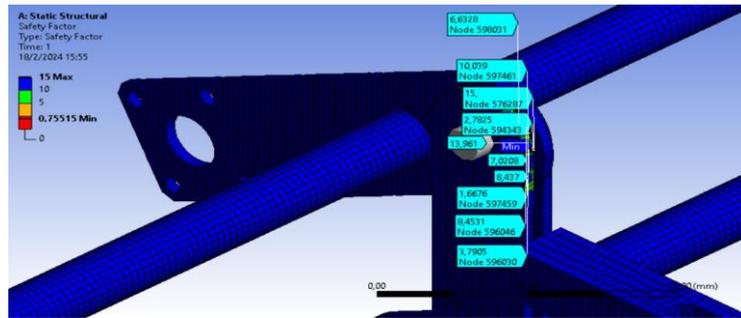


Ilustración 3-85: Ansys – Puntos de singularidades

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Sin embargo, al ser una plancha demasiado delgada puede sufrir condiciones de pandeo por lo que se debe analizar que soporte dicha carga.

La carga a de compresión que soporta el eslabón más crítico (el cual es el que une a los ejes centrales) se puede determinar mediante la carga de corte que experimente el pasador que une a este mecanismo central.

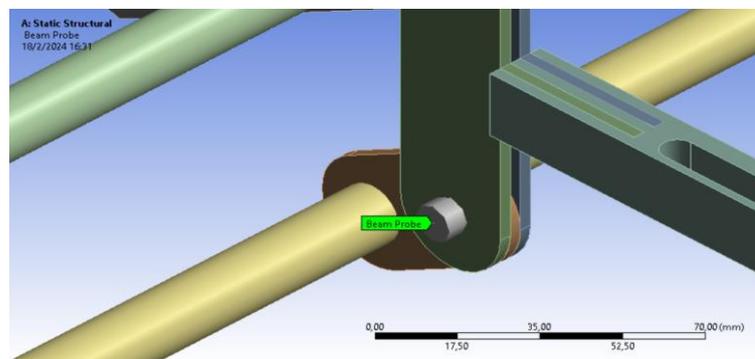


Ilustración 3-86: Ansys – Pasador de unión al elemento crítico

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Details of " Beam Probe "	
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
+ Results	
- Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> Axial Force	-2,3734 N
<input type="checkbox"/> Torque	-0,47118 N-mm
<input type="checkbox"/> Shear Force At I	6,252 N
<input type="checkbox"/> Shear Force At J	6,1521 N
<input type="checkbox"/> Moment At I	72,46 N-mm
<input type="checkbox"/> Moment At J	84,352 N-mm
- Minimum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> Axial Force	-2,3734 N
<input type="checkbox"/> Torque	-0,47118 N-mm
<input type="checkbox"/> Shear Force At I	6,252 N

Ilustración 3-87: Ansys – Cargas del pasador

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para estar del lado de seguridad, se dice que la carga de compresión que puede generar pandeo será de 6.252N.

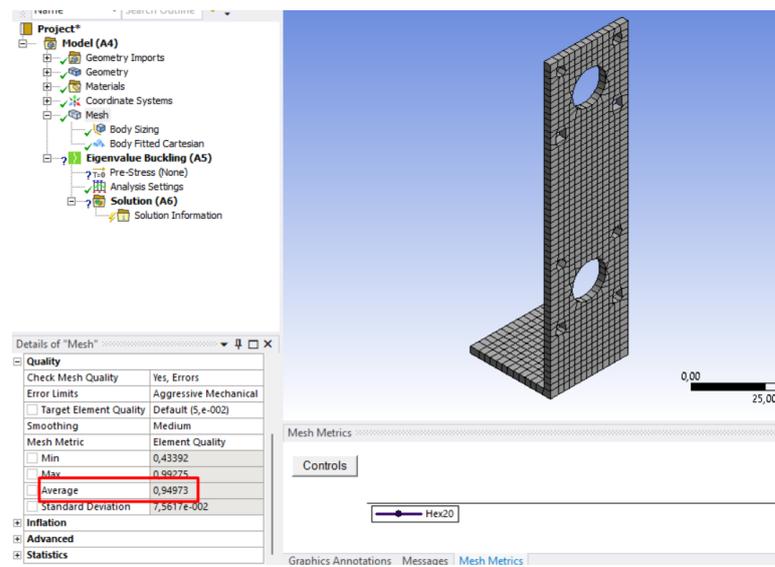


Ilustración 3-88: Ansys – Calidad de malla del elemento a sufrir pandeo

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se colocan las mismas restricciones de contorno considerando una fuerza de 1N para poder analizar el multiplicador que indique el pandeo.

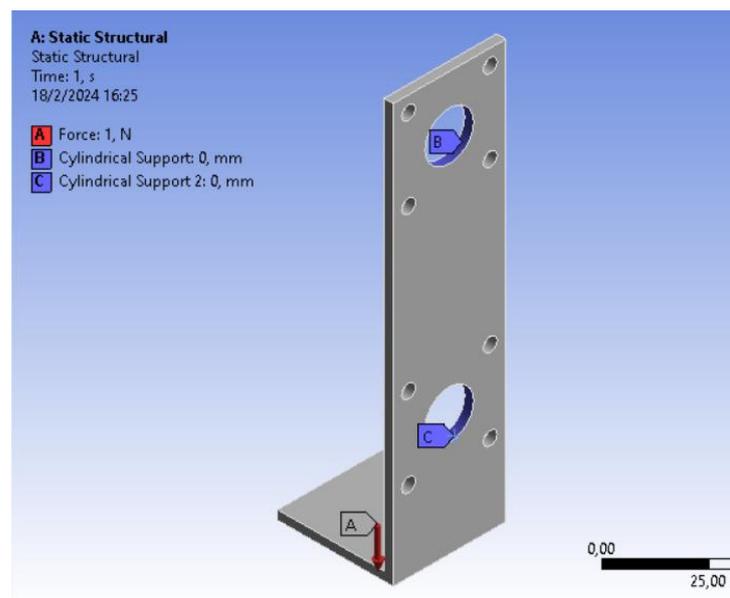


Ilustración 3-89: Ansys – Condiciones para el análisis de pandeo

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para lograr un pandeo en el elemento se requeriría una fuerza de al menos $2,42 \times 10^5 \text{ N}$, siendo la fuerza de 6,252 N exageradamente pequeña por lo que tampoco sufrirá pandeo además de la fluencia.

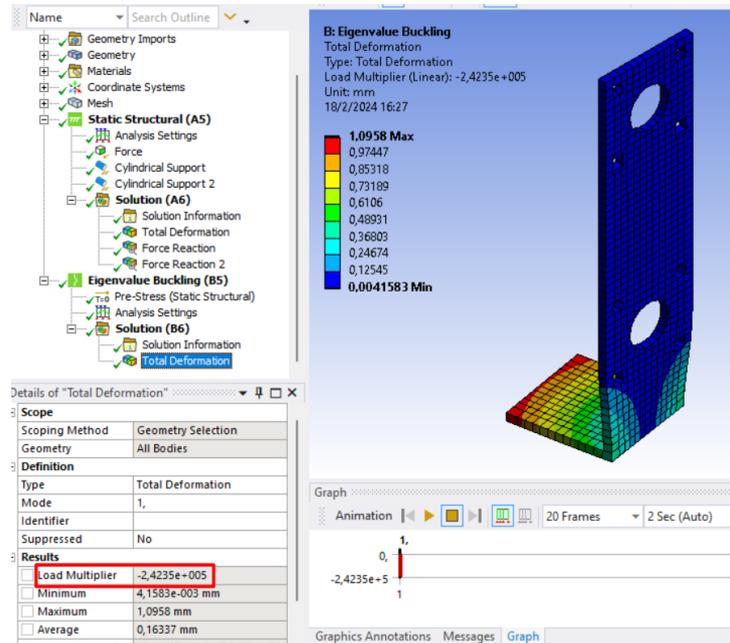


Ilustración 3-90: Ansys – Carga crítica de pandeo

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.9 *Análisis CAE de la leva*

Para este análisis fue necesario la variación de la fuerza ejercida en la barra H en donde se encuentra el seguidor, esta se sometió a cambios según la posición angular de la leva, así el máximo valor posible fue de $54,4434 \text{ N}$, y que fue utilizada en la configuración de análisis del software Ansys; así la variación se muestra en la ilustración.

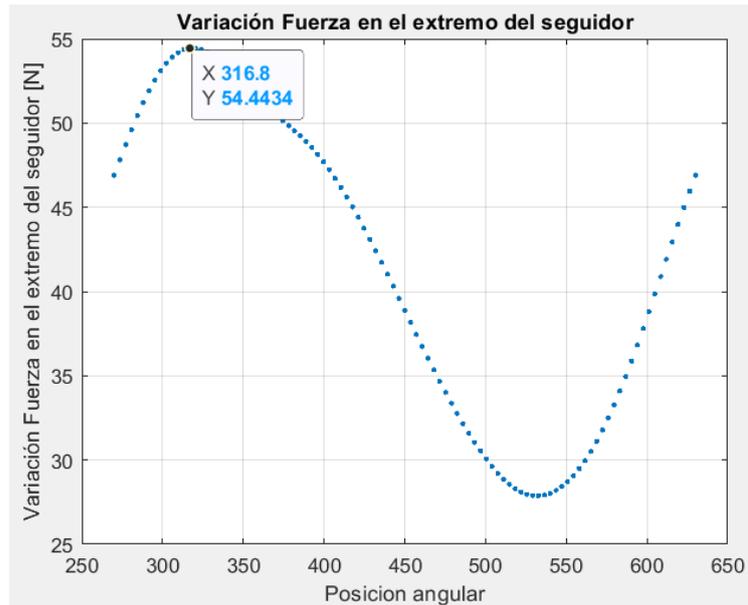


Ilustración 3-91: Matlab – Variación de la fuerza en el extremo del seguidor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se verificó que la calidad de la malla conlleve el rango necesario para su validación, así mediante el evaluador Element Quality generó una calidad de malla de 94.948% con una desviación estándar del 8.572% con lo que se valida el estudio y sin presencia de singularidades.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	9,2668e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99959
<input type="checkbox"/> Average	0,94948
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	8,5722e-002

Ilustración 3-92: Ansys – Calidad de mallado en estudio de leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Deformación

La máxima deformación existente en el mecanismo y con la fuerza máxima aplicada de 54,44 N es de 0,1416 mm, que se observa en el extremo de la barra que guía al mecanismo paralelogramo, por lo tanto, se determinó la validez de la deformación.

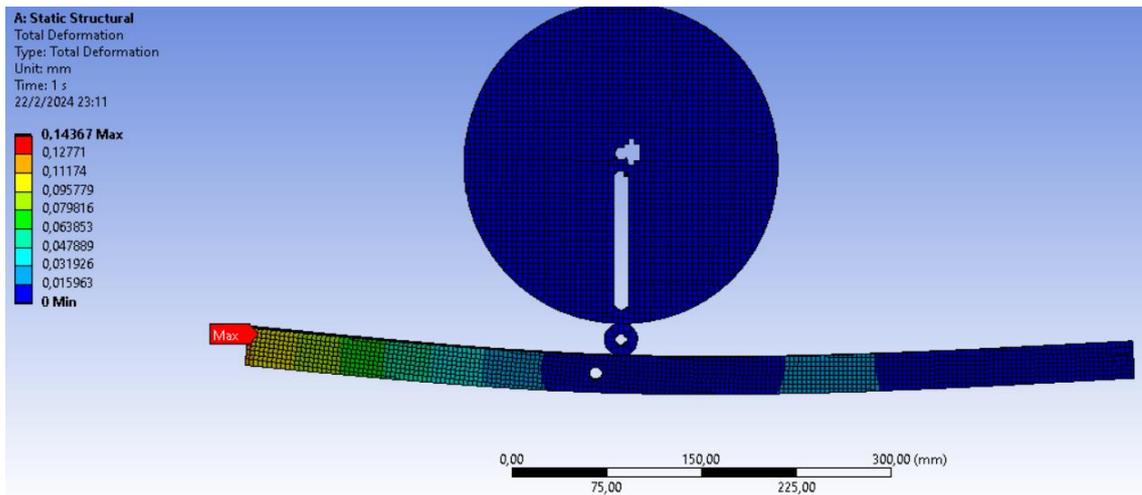


Ilustración 3-93: Ansys – Deformación total del mecanismo leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Factor de seguridad

En este apartado se obtuvo en su mayoría un factor de seguridad de 12,692 y se debió a la rigidez y menor fuerza posible aplicada en la leva, así mismo, el peso propio de los elementos es muy pequeños y se aseguró de la eficiencia ante deformaciones y fallas repentinas del sistema que da el movimiento a la máquina.

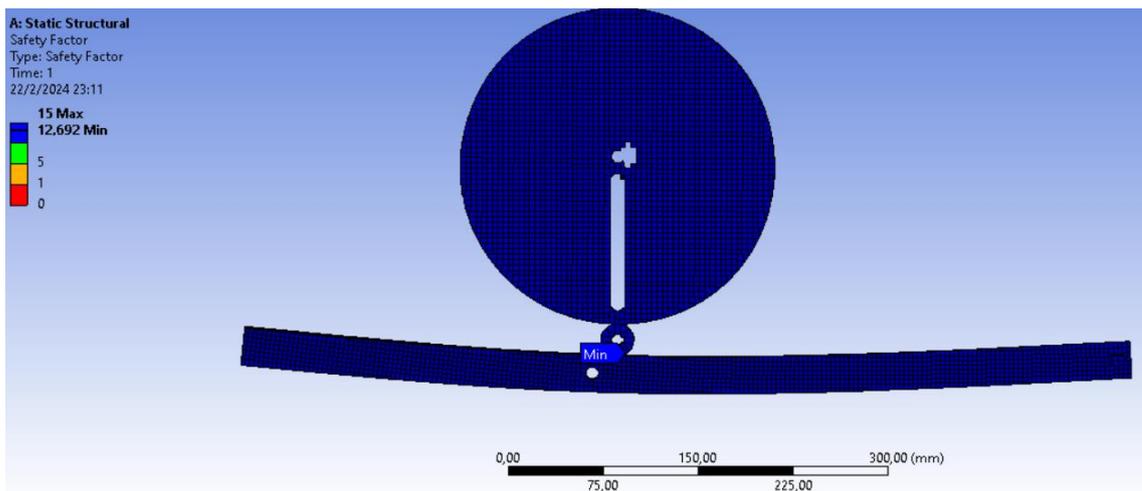


Ilustración 3-94: Ansys – Factor de seguridad del mecanismo leva

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Torque requerido

Mediante los análisis dinámicos elaborados de manera manual, así como de uso computacional se verificó el torque necesario del mecanismo, es decir, el necesario por el actuador para el

movimiento de ciclos de serigrafado. Una vez más los resultados son cercanos a los calculados teniendo así un pequeño aumento de este con un valor total de $2,669 \text{ N} \cdot \text{m}$; para así determinar el actuador.

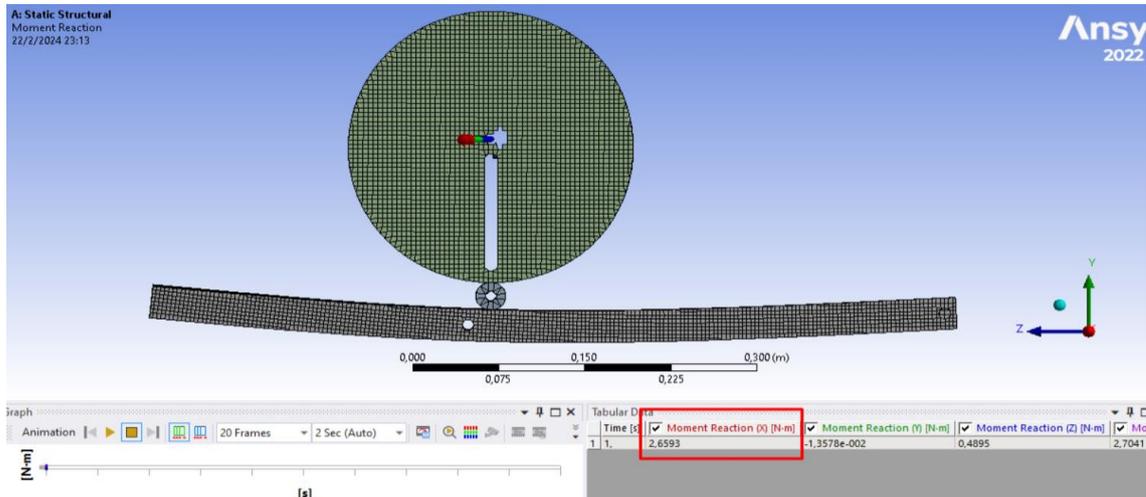


Ilustración 3-95: Ansys – Torque requerido en el mecanismo mediante análisis CAE

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.3.10 Estructura exterior de la máquina

Una vez determinados todos los elementos constructivos del mecanismo de serigrafía, la estructura exterior que sostiene a la máquina se diseña en base a las cargas presentes y los límites permisibles de los perfiles utilizados, así para una elección de estos es necesario consultar un catálogo de perfiles y a su vez hacer un estudio de las deformaciones máximas que pueden presentarse. El análisis MEF se elabora utilizando el software Ansys, en su módulo Static Structural.

La estructura se elabora de tubo cuadrado de 40 mm con un espesor de $1,5 \text{ mm}$, este perfil se elabora de acero ASTM A-500 con un recubrimiento negro, así dentro de los materiales aplicados en el análisis se establece el acero A-36 con propiedades similares al real.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data		Source	Description	
2	Material				
3	Acero ASTM A36		C:\		
4	Structural Steel		Ger	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1	
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 3: Acero ASTM A36					
	A	B	C	D	E
1	Property		Value	Unit	
2	Material Field Variables		Table		
3	Density	7850		kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson...			
8	Young's Modulus	200		GPa	
9	Poisson's Ratio	0,26			
10	Bulk Modulus	1,3889E+11		Pa	
11	Shear Modulus	7,9365E+10		Pa	
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve		Tabular		
24	Tensile Yield Strength	250		GPa	
25	Compressive Yield Strength	250		GPa	
26	Tensile Ultimate Strength	400		GPa	
27	Compressive Ultimate Strength	0		Pa	

Ilustración 3-96: Ansys – Designación de materiales

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Una vez exportada la estructura y ya en el Model, se establece las restricciones tanto de tipos de contactos como de el espesor de los tubos de la estructura, para ello el tipo de unión de cada tubería es de tipo Bonded que se explica por la soldadura que conlleva la compactación de la carcasa.

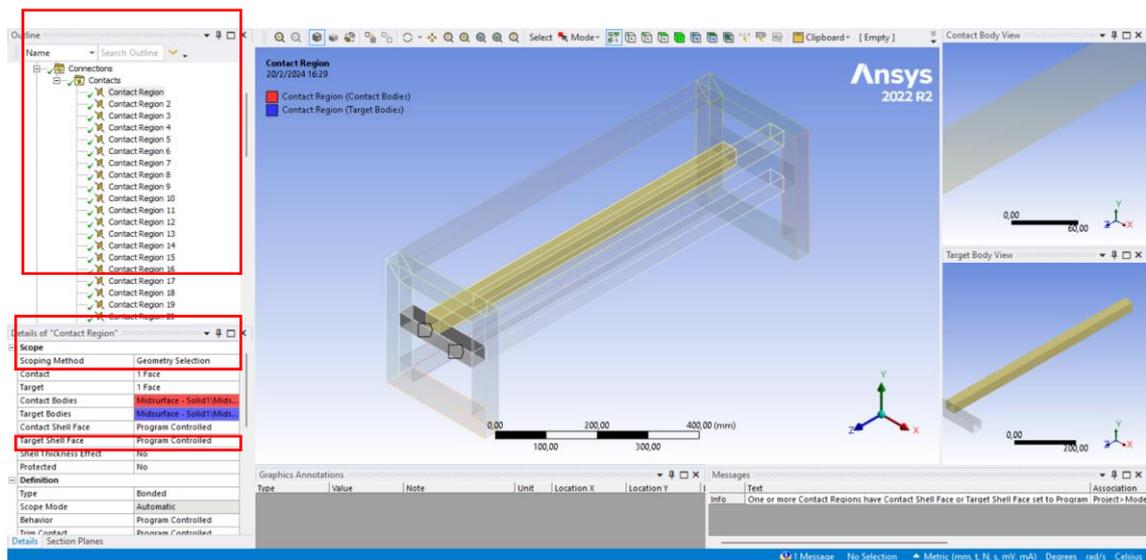


Ilustración 3-97: Ansys – Designación de contactos Bonded en la estructura exterior

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La creación de la malla se lleva a cabo con el evaluador Element Quality que sugiere una calidad de malla superior al 75,7% con una desviación estándar del 20,25%, con ello se comprueba que los resultados obtenidos se acercan a las mediciones reales a la que se somete la estructura.

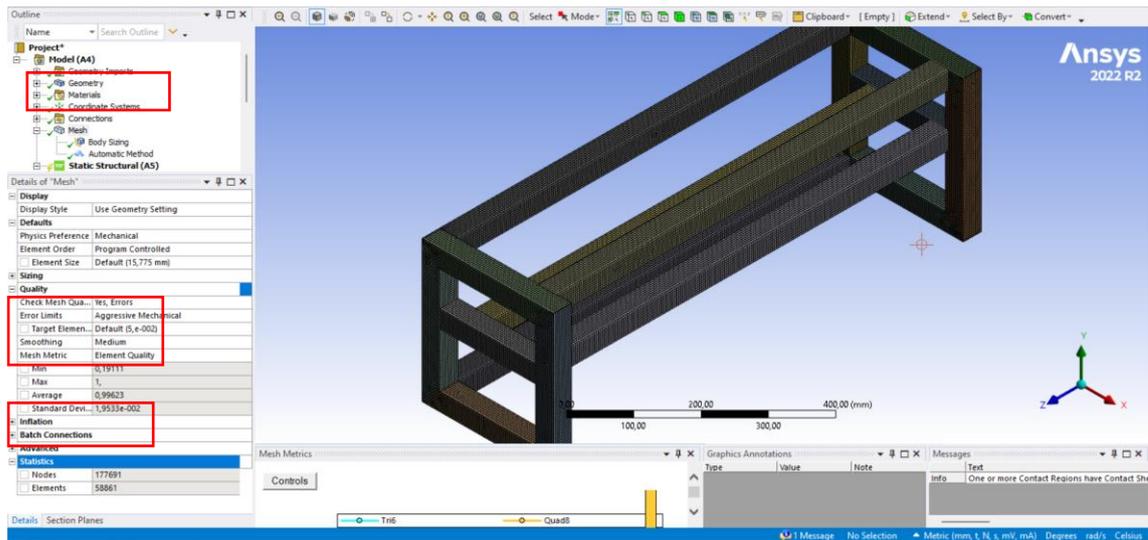


Ilustración 3-98: Ansys – Calidad de malla de estructura exterior

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Las cargas aplicadas dentro de la estructura corresponden el análisis dinámico de los apartados anteriores, para ello la distribución de carga se basa en la aplicación de una fuerza remota en los perfiles laterales, así como de la aplicación de la fuerza de la gravedad que es una constante.

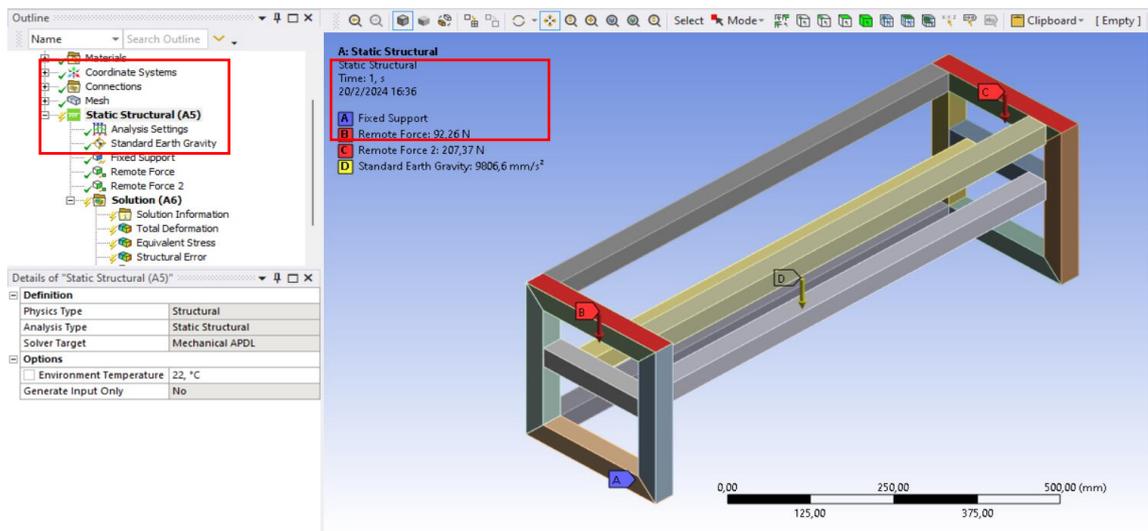


Ilustración 3-99: Ansys – Aplicación de cargas en vigas

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para la aplicación de carga remota se obtiene mediante la sumatoria de las fuerzas.

Fuerza P

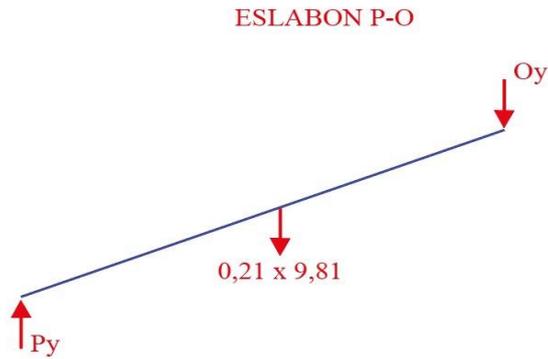


Ilustración 3-100: Ansys – Diagrama de cuerpo libre del eslabón PO

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

$$\sum F_y = 0$$
$$P_y - O_y - 0,21 * 9,81 = 0$$
$$P = (0,21 * 9,81) + 46,63 = \mathbf{48.6901\ N}$$

```
Command Window
Fuerza Dy = 89.28
Fuerza Cy = 118.08
Fuerza Oy = 46.63
Fuerza Ny = 41.51
```

Ilustración 3-101: Matlab – Fuerzas resultantes del análisis dinámico

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Fuerza M

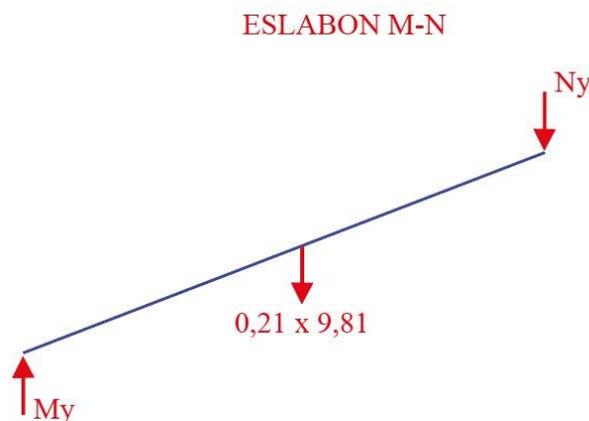


Ilustración 3-102: Diagrama de cuerpo libre del eslabón MN

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

$$\sum F_y = 0$$

$$M_y - N_y - 0,21 * 9.81 = 0$$

$$M = (0.21 * 9.81) + 41,51 = \mathbf{43,5701\ N}$$

La fuerza remota es la que se ubica en el centro del perfil o en el lugar donde se va a aplicar la fuerza, para este caso tenemos 2 Fuerzas Remota.

Fuerza Remota 1

$$\sum Fy = FR_1$$

$$FR_1 = P + M$$

$$FR_1 = 48.6901 + 43.5701$$

$$FR_1 = 92.2602\ N$$

Fuerza Remota 2

$$\sum Fy = FR_2$$

$$FR_2 = D + C$$

$$FR_2 = 89.29 + 119.08$$

$$FR_2 = 207.37\ N$$

Esfuerzo de Von Misses

El máximo esfuerzo presente en la estructura se observa en las esquinas y puede ser explicado como un concentrador de esfuerzos al ser una unión soldada, de igual forma este valor es de 7,55 MPa y no representa un valor que afecte estructuralmente.

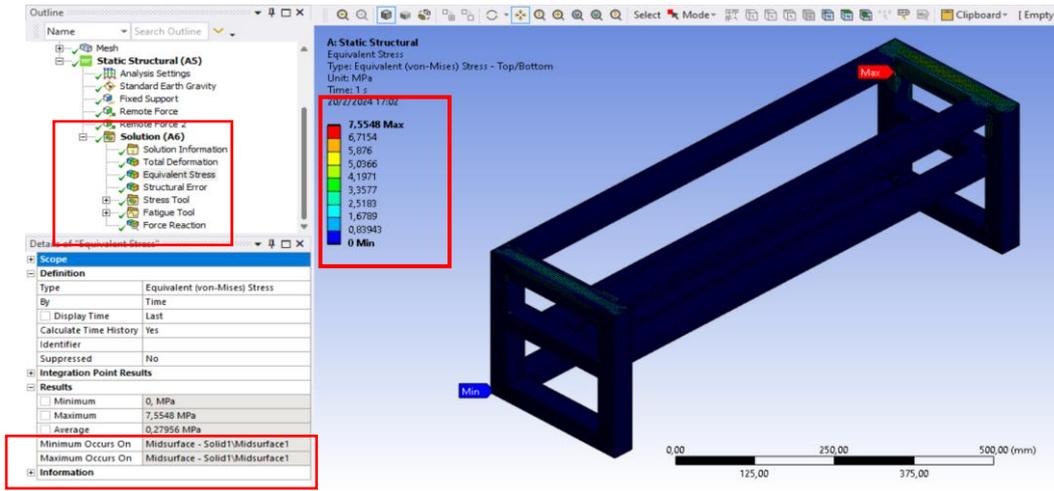


Ilustración 3-103: Ansys – Esfuerzos de Von Misses en la estructura exterior

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

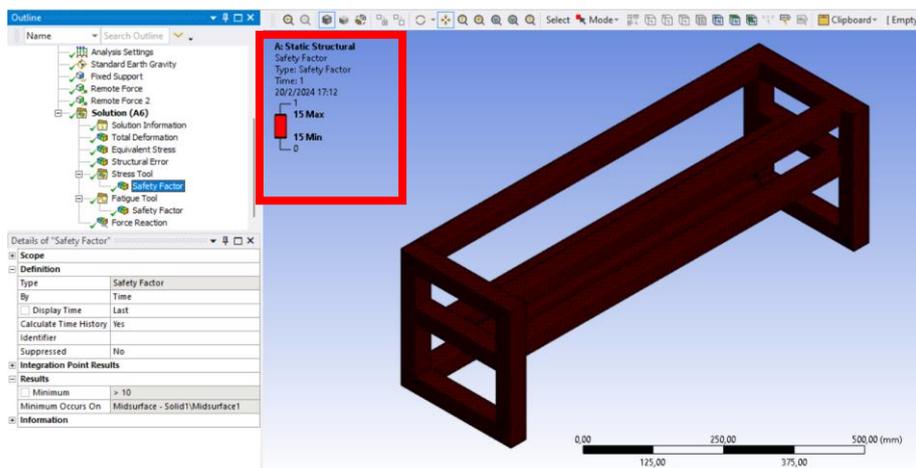
$$\eta = \frac{S_{y\text{material}}}{\sigma_{\text{m\acute{a}x}}} \tag{18.3}$$

$$\eta = \frac{250 \text{ MPa}}{7.5548 \text{ MPa}} = 33.09$$

$$\eta = \frac{S_{y\text{material}}}{\sigma_{\text{m\acute{a}x}}} = \frac{400 \text{ MPa}}{7.5548 \text{ MPa}} = 52.95$$

Factor de Seguridad

Un factor de seguridad de la estructura llega a su máxima expresi3n posible, esto se debe a la rigidez del perfil y la forma de uni3n de este, se ha optado por un perfil mucho mayor al necesario para contemplar cargar externas y la aplicaci3n de otros elementos que necesitan ser unidos mediante soldadura como un contenedor del drive del motor, as3 como del PLC.



Ilustraci3n 3-104: Ansys – Factor de seguridad de la estructura exterior

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Reacciones

Las reacciones se dan principalmente en alrededor del eje Y, puesto que lateralmente se ha restringido el movimiento con el soporte fijo o Fixed Support aplicado en la configuración de análisis, este valor llega a los 409.97 N.

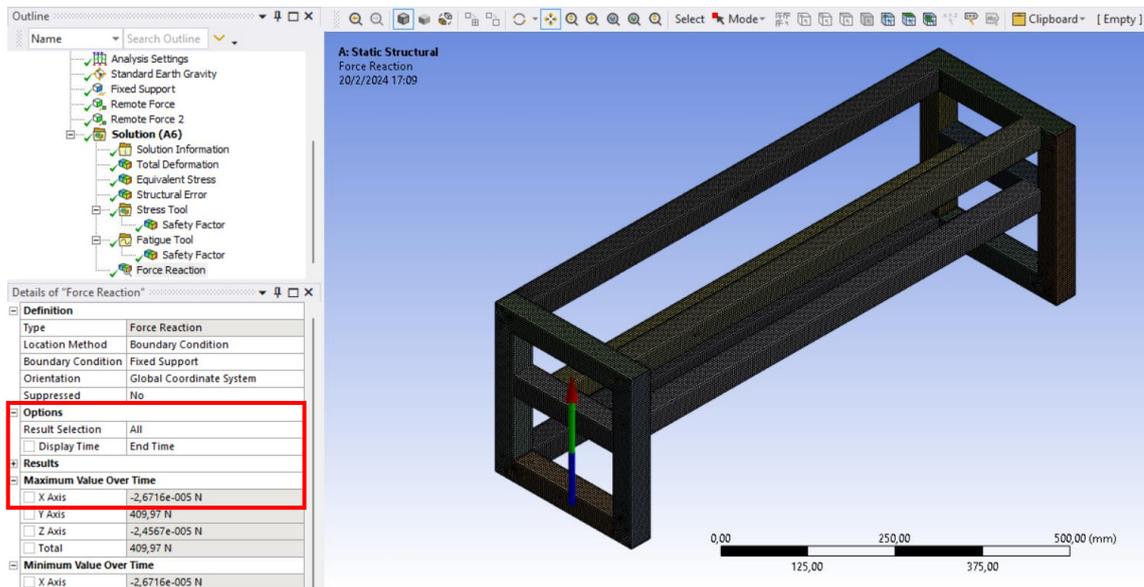


Ilustración 3-105: Ansys – Reacciones de la estructura exterior

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.4 Diseño del Sistema de Control automático

El tipo de sistema de control que se ocupará en la maquina es de bucle cerrado esto se debe al sensor fin carrera que tiene como función determinar el final de un ciclo se serigrafia de los objetos cilíndricos o cónicos, para el control de velocidad del motor se lo realizara mediante las pulsaciones que estén ingresada en el logo respecto al tiempo y las variables que se tienen de encendido, apagado y modo de operación del motor variables que son ingresadas al logo manualmente por el operario para determinar las condiciones respecto a la programación que se la desarrollara en el programa Logo Soft Comfort.



Ilustración 3-106: Tablero del Sistema de control automático.
Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.4.1 Selección del motor

El motor es el elemento generador de los ciclos del mecanismo unido de leva, yugo escocés y paralelogramo, por tanto, su selección se basa en la obtención del torque necesario para mover la máquina. De acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis dinámicos tanto de manera analítica como en las simulaciones, se ha obtenido el torque necesario correspondiente a $2,54 \text{ N} \cdot \text{m}$ contemplando cargas, fuerzas de rozamientos, entre otras.

Para su selección se remite a matriz morfológica contemplada en los puntos anteriores, en el que la alternativa 1 exige un motor a pasos Nema. Para su eficiencia se ha asumido un torque 3 veces más del exigido, así contemplando factores externos que podrían presentarse, en conclusión, se invierte en un motor de $7,62 \text{ N} \cdot \text{m}$. En el mercado nacional se contemplan motores que oscilan el torque calculado, pero que no es el exacto, así se ha optado por un motor con las siguientes características:

Technical specifications											
Model	Phase number	Step angle (°)	Holding torque (N.M)	Rated current (A)	Phase inductance (mH)	Phase resistance (Ohm)	Body length with brake	Rotor inertia (g.cm ²)	Shaft diameter (mm)	Shaft length (mm)	Motor body length L (mm)
86AM35	2	1.8	3.5	4.0	3.8	0.8	-	800	9.5	32	64
86AM45	2	1.8	4.5	6.0	2.8	0.4	-	1400	12.7	32	78
86AM65	2	1.8	6.5	6.0	4.1	0.5	-	2300	12.7	32	98
86AM85	2	1.8	8.5	6.0	5.5	0.55	-	2800	12.7	32	112
86AM120	2	1.8	12.0	6.0	8.3	1.72	-	4000	15.875	32	155
86AM45-14	2	1.8	4.5	6.0	2.8	0.4	119	1400	14	32	78
86AM65-14	2	1.8	6.5	6.0	4.1	0.5	-	2300	14	32	98
86AM85-14	2	1.8	8.5	6.0	5.5	0.55	154	2800	14	32	112
86AM120-14	2	1.8	12.0	6.0	8.3	1.72	199	4000	14	32	155

Ilustración 3-107: Modelos de motores Nema

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024



Ilustración 3-108: Motor a pasos Nema 34

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.5 Selección de controlador

Al igual que en la selección del motor, la alternativa sugiere un modelo de PLC, este en su mayoría se basa en el tipo de tensión de alimentación, así como de la intensidad de salida. En la lista de exigencias se muestra que la máquina debe ser conectada a la red convencional de 110 VCA – 60 Hz, y que en consecuencia se necesita de una fuente conmutada para la transformación a corriente continua que necesita el controlador. El modelo optado tanto por características eléctricas como económicas es el siguiente:



Ilustración 3-109: Modelo de controlador Logo 6ED1052-1MD08-0BA1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Display	
Con display	Si
Diseño/montaje	
Montaje	sobre perfil normalizado de 35 mm, 4 módulos de ancho
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	
• 12 V DC	Si
• 24 V DC	Si
Rango admisible, límite inferior (DC)	10,8 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Hora	
Programadores horario	
• Cantidad	400; Máx. 400, según la función
• Reserva de marcha	480 h
Entradas digitales	
Nº de entradas digitales	8; de ellas, 4 aptas como E analógicas (0 a 10 V)
Salidas digitales	
Número de salidas	4; Relé
Protección contra cortocircuito	No; requiere protección externa
Intensidad de salida	
• para señal "1" rango admisible para 0 a 55 °C, máx.	10 A
Salidas de relé	
Poder de corte de los contactos	
— con carga inductiva, máx.	3 A
— con carga resistiva, máx.	10 A
CEM	
Emisión de radiointerferencias según EN 55 011	
• Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial	Si

Ilustración 3-110: Data sheet del controlador Logo 6ED1052-1MD08-0BA1

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.5.1 Control de velocidad del actuador

Para el control de velocidad del motor se usó el controlador DM860H el cual funciona aplicando pulsos eléctricos de 5 voltios de corriente continua para las bobinas en una secuencia determinada, el cual hace que el motor tenga rotación equivalente a un paso. Este controlador permite que se pueda tener una precisión del ángulo de giro mediante las pulsaciones que se envían desde el logo adicional a eso se puede controlar la dirección de giro del motor. Se inició con la esquematización del sistema de control de velocidad para tener una referencia global en el desarrollo de la máquina.

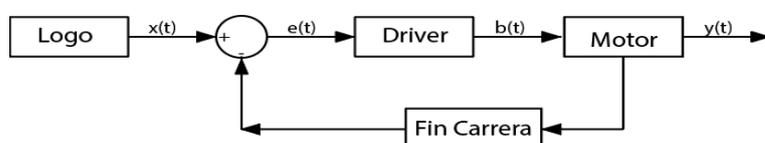


Ilustración 3-111: Lazo de control del sistema (ciclo cerrado)

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.5.2 Conexiones de funcionamiento

El controlador de motor a pasos muestra dentro de su hoja de datos las conexiones necesarias para establecer el funcionamiento, se toma en cuenta el tipo de driver, en este caso bipolar que mediante pulsos que genera los pasos requeridos en el actúa su vez la siguiente ilustración plasma las conexiones tanto para sentido de giro como conexiones a fuentes y tierra.

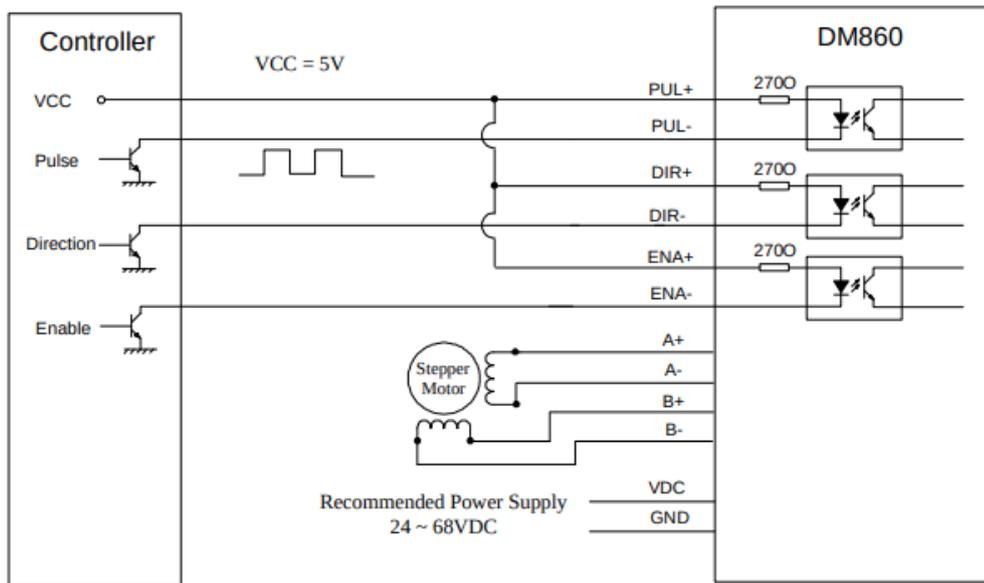


Ilustración 3-112: Conexión básica del driver DM860H

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

De las salidas que dispone el LOGO Q1 y M se conecta a la dirección positiva y negativa del driver para el control del sentido de giro del motor y de la salida Q2 y M del LOGO a la entrada de pulsos positivo y negativo que establece el ángulo de giro y la velocidad del motor. A continuación, se describe cómo se conecta el driver y cómo funciona el sistema de la máquina.

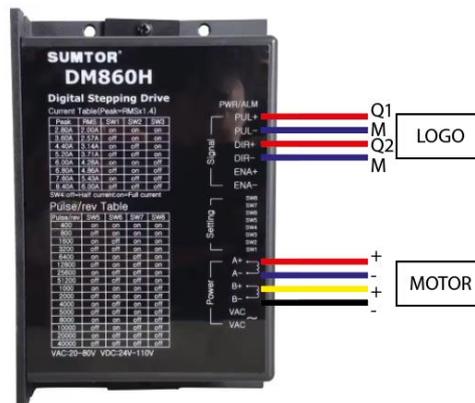
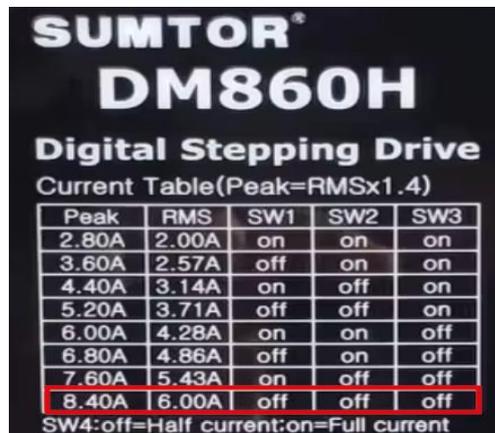


Ilustración 3-113: Salidas del controlador del motor a pasos

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El driver DM860H es alimentado por una fuente de 24 voltios y también permite configurar los rangos de corriente e intensidad del motor esto es mediante switches DIP en la superficie según lo requerido por el usuario, en este caso es necesario que el controlador trabaje a la mayor intensidad posible pues el motor necesita requiere esa intensidad según su hoja de datos, así se establece SW1, SW2, SW3 en OFF, como se muestra en la siguiente ilustración:



The image shows the current table for the SUMTOR DM860H Digital Stepping Drive. The table lists Peak and RMS current values along with the settings for switches SW1, SW2, and SW3. The row for 8.40A Peak and 6.00A RMS is highlighted with a red box, indicating the required configuration for maximum current. Below the table, it specifies that SW4: off=Half current, on=Full current.

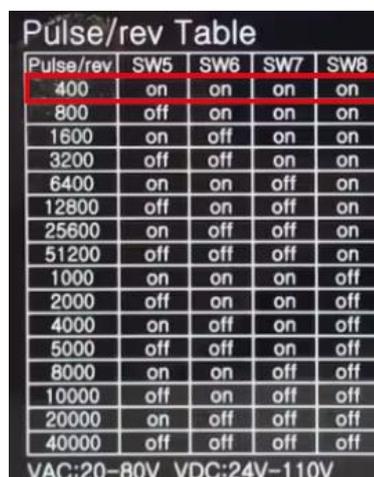
Peak	RMS	SW1	SW2	SW3
2.80A	2.00A	on	on	on
3.60A	2.57A	off	on	on
4.40A	3.14A	on	off	on
5.20A	3.71A	off	off	on
6.00A	4.28A	on	on	off
6.80A	4.86A	off	on	off
7.60A	5.43A	on	off	off
8.40A	6.00A	off	off	off

SW4: off=Half current; on=Full current

Ilustración 3-114: Adaptación de intensidad requerida en DM860H

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El swtich 4 es un parámetro el cual se le configura en off, puesto que este sirve para ajustar la corriente cuando el motor está en reposo, esta intensidad llegará a la mitad de la corriente dinámica seleccionada pues el motor no requiere estar fuertemente en su posición al encontrarse en reposo, si en el caso que el operador necesite que el motor tenga una posición estática con un torque alto se pondría en ON. Finalmente, los swtich 5, 6,7,8 se configuran en la posición de ON lo que nos determina los microstep, es decir, steps/rev (for 1.8° motor) de 400.



The image shows the Pulse/rev Table for the SUMTOR DM860H. The table lists Pulse/rev values and the settings for switches SW5, SW6, SW7, and SW8. The row for 400 Pulse/rev is highlighted with a red box, indicating the required configuration for 400 steps/rev. Below the table, it specifies VAC:20-80V and VDC:24V-110V.

Pulse/rev	SW5	SW6	SW7	SW8
400	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off

VAC:20-80V VDC:24V-110V

Ilustración 3-115: Configuración de Pulse/rev en DM860H

3.5.3 Control de movimiento del Motor

La función del Logo es enviar los pulsos necesarios para tener el giro del motor con una velocidad adecuada en la serigrafía. Este control o envío de pulsos es posible mediante interruptores, contactores y selectores para encender y apagar el funcionamiento. A continuación, se presenta el diagrama de bloques adaptador al controlador programable.

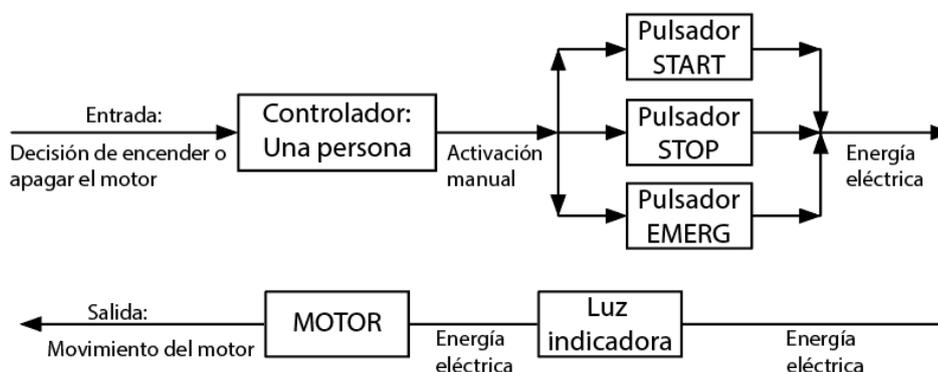


Ilustración 3-116: Diagrama de bloques del control del motor

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

En el diagrama, el contactor es el interruptor de control principal del movimiento del motor, el selector hace posible tres modos de operación de la máquina y por último las luces que se dan en el LOGO son los indicadores que se muestran el estado del motor si esta apagado o en movimiento. A continuación, se detalla los componentes que se usaron para el control de la máquina.

Tabla 3-12: Componentes del control de la máquina de serigrafía.

Componentes	Símbolo
Motor Nema 32	M
logo siemens 6ed1052-1cc08-0ba1	L
Disyuntor de protección	Q1
Botón de arranque (normalmente abierto)	START
Botón de paro (Normalmente abierto)	STOP
Botón de paro (Normalmente cerrado)	EMERG
Luz indicadora de paro de emergencia	H1
Líneas de Alimentación	L, N
Fin carrera	F

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para la alimentación y protección de los equipos del control se coloca un relé térmico sumando todos los amperajes que tiene de cada implemento, la sumatoria de la misma no supera los 10 A, por lo tanto, se coloca un relé térmico de 15 A. A continuación, se muestra un diagrama del sistema.

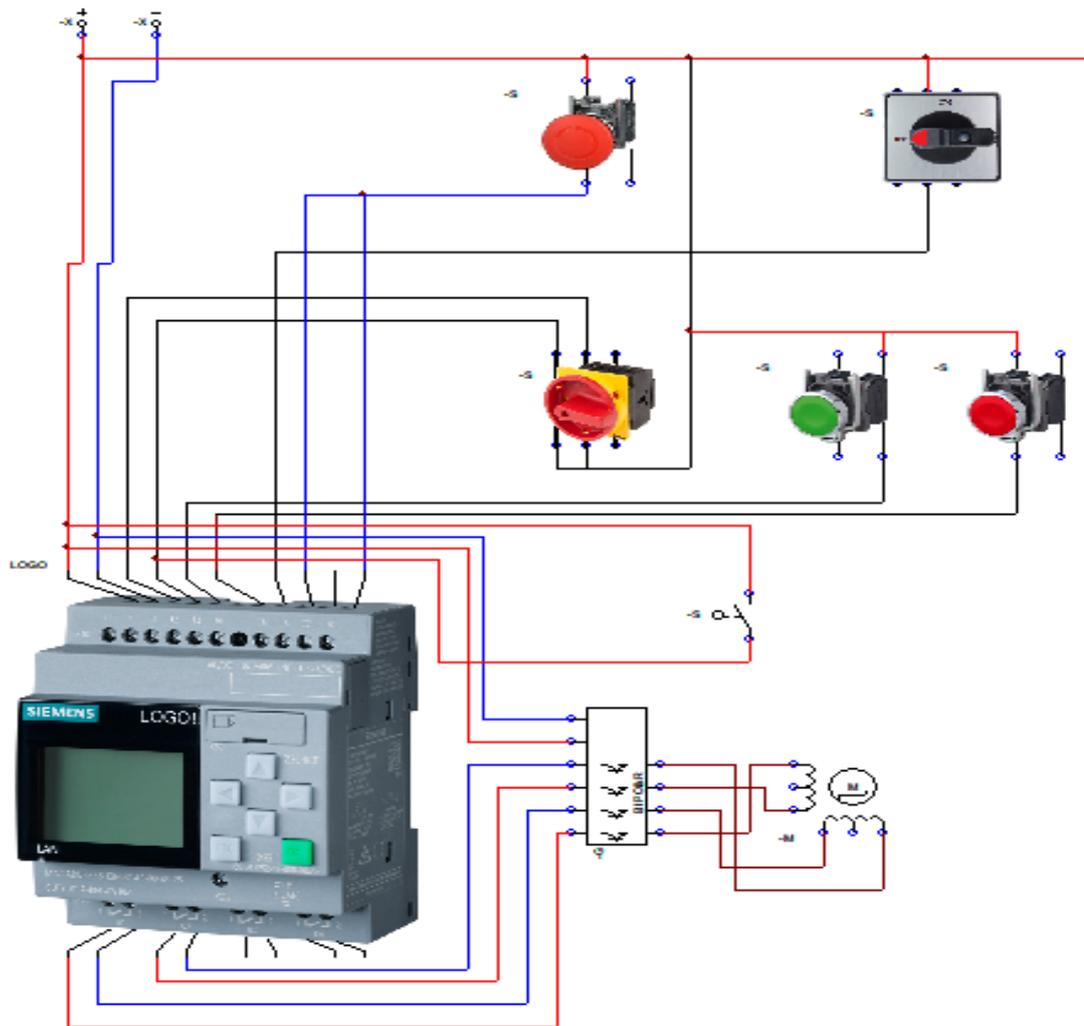


Ilustración 3-117: CADe SIMU - Diagrama del sistema de control del motor NEMA

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

3.5.4 Funcionamiento

Para el inicio se activa el relé térmico que permite que se energice la fuente de 24V, consecutivamente hace encender el controlador programable el cual da una indicación de teto “Maquina de serigrafia – piezas serigrafiadas: 0”

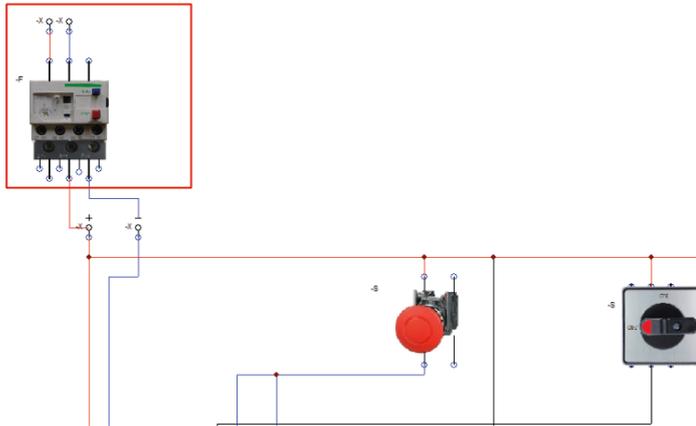


Ilustración 3-118: CADe SIMU - Diagrama de conexión del control del motor en posición neutral alimentada.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para activar el ciclo de la máquina con el selector de ON/OFF, se utiliza uno de doble efecto para obtener el de doble seguridad requerida, esto indica al controlador programable que se puede pasar al siguiente bloque de programación. Al seleccionar el tipo de modo de operación de la maquina esta lista para activar el “START” y que el motor se mueva dependiendo el modo de la programación.

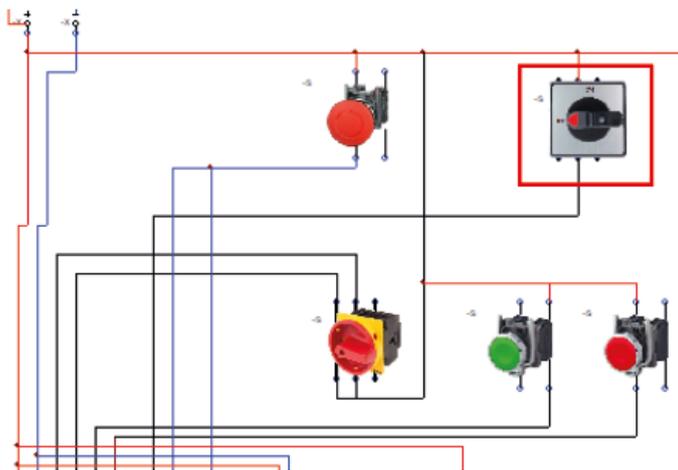


Ilustración 3-119: CADe SIMU - Diagrama de activación de control de la máquina.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

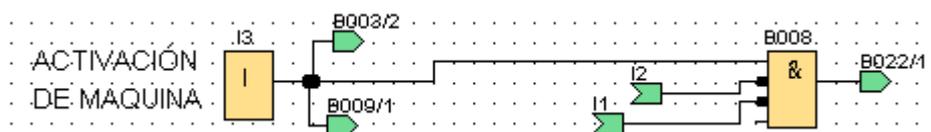


Ilustración 3-120: LOGO Soft Comfort – Programación por bloques de activación de la máquina

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Modo 1: En el modo central se tiene que al presionar “START” el motor gira con pulsos respecto al tiempo, es decir, si se mantiene presionada gira infinitamente y no considera el fin carrera para el paro, pero si se considera para el contador de piezas serigrafadas en un ciclo de serigrafía.

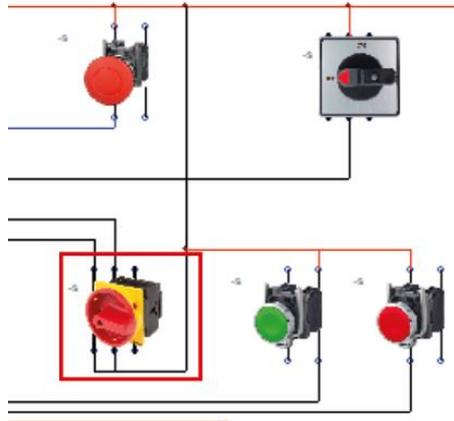


Ilustración 3-121: CAdE SIMU – Selector de modo de funcionamiento de máquina

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

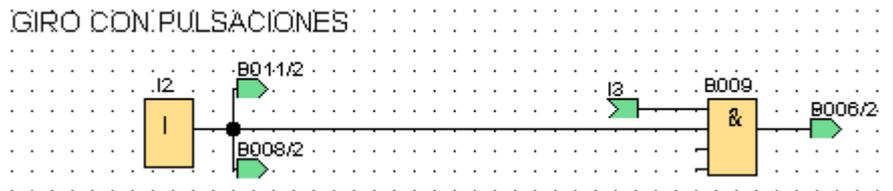


Ilustración 3-122: LOGO Soft Comfort – Programación de giro del motor por pulsaciones

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Modo 2: El modo selector izquierda se tiene que al presionar “START” se hace un pulso y el motor gira 360° hasta llegar al fin carrera que es accionado y se detiene hasta nuevamente presionar “START”.

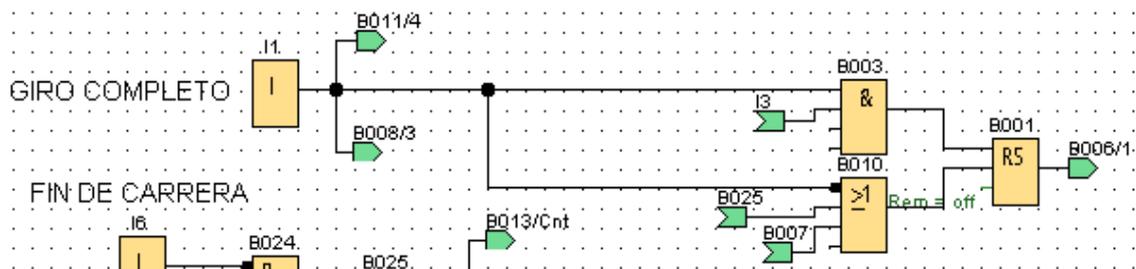


Ilustración 3-123: LOGO Soft Comfort - Programación por bloques de giro completo

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Modo 3: El modo selector derecha se presiona una sola vez el “START” y el motor gira 360 grados y se detiene cuando el operador presione “STOP” el fin carrera es accionado mecánicamente y se detiene por un determinado tiempo y se puede cambiar la pieza a serigrafía a este modo lo denominamos automático ya que no se detiene y se puede hacer una producción en serie de las piezas hasta que el operador lo decida.

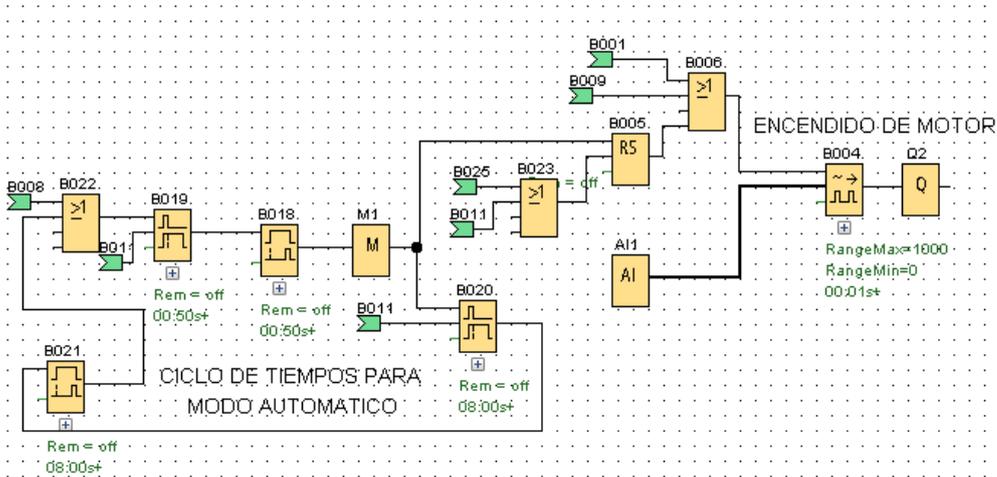


Ilustración 3-124: LOGO Soft Comfort - Programación por bloques de giro en modo automático.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Para brindar seguridad al momento de la utilización del sistema es necesario la implementación de un paro de emergencia, se coloca dentro de la programación por bloques donde al presionar suspende todo movimiento del motor y resalta el color rojo dando un mensaje en la pantalla del LOGO. La siguiente ilustración muestra el mensaje de al momento de captar el paro de emergencia y su programación por bloques dentro de su software.



Ilustración 3-125: LOGO Soft Comfort – Programación Sistema de seguridad Paro de Emergencia.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Una de las exigencias de la empresa es la de contabilizar la cantidad de productos finales serigrafiados, es decir, mantener un control de la producción; para ello la programación del contador suma las veces de accionamiento y resalta en la pantalla del LOGO el número de piezas procesadas, se debe aclarar que este sensor contabiliza el número de toques que ha recibido y por ende si se realizó un toque antes de posicionar el producto puede llegar a causar confusión.

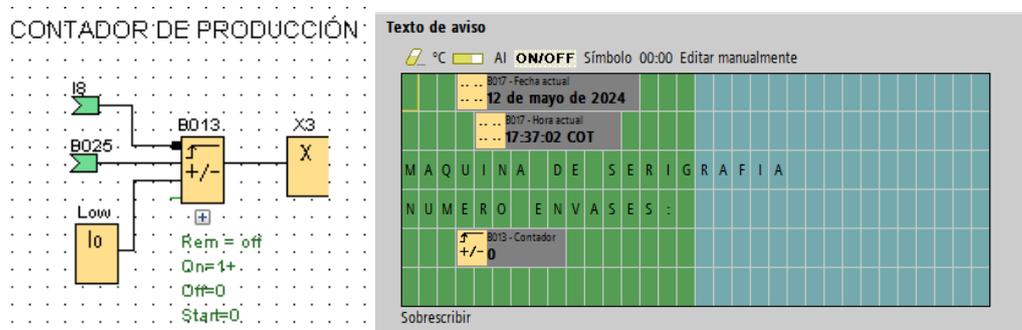


Ilustración 3-126: LOGO Soft Comfort - Programación y mensaje de activación del sistema conteo de productos.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Los pulsos que se envían al driver se programa en el bloque del PWM y se puede hacer el giro de motor con la velocidad máxima, para posteriormente regular entre ese rango de pulsaciones y reducir la misma mediante la pantalla del mismo LOGO, según requiere el operador.

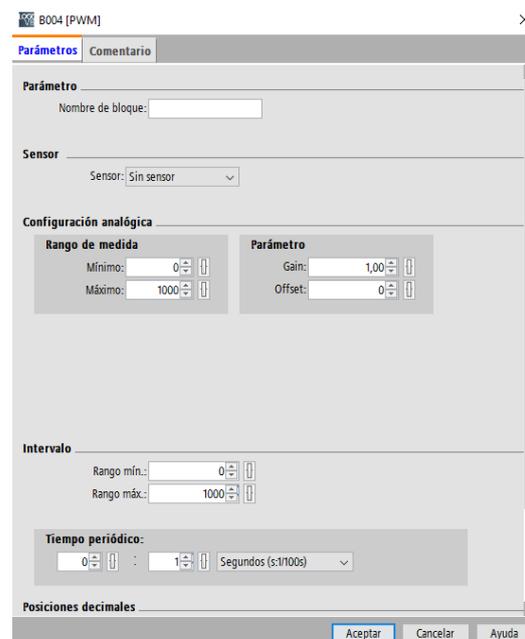


Ilustración 3-127: LOGO Soft Comfort - Programación y mensaje de activación del sistema conteo de productos.

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se abordará los métodos utilizados para la evaluación de funcionamiento de la máquina, así como de la calidad de la serigrafía en los productos finales, mediante la utilización de herramientas estadísticas y percepciones visuales de los operadores en base a su experiencia.

4.1 Construcción de la máquina de serigrafía

Una antesala del proceso de evaluación es la determinación del proceso constructivo, así se muestra mediante diagramas y tablas las etapas constructivas.

4.1.1 Proceso de construcción

En el proceso de fabricación de la máquina de serigrafía se requiere de la implementación de partes móviles que no generen obstrucciones al momento del montaje, es decir, los movimientos son precisos y por lo tanto se necesita de procesos de manufactura con un rango de error bajos, a continuación, se detalla el proceso general de construcción:

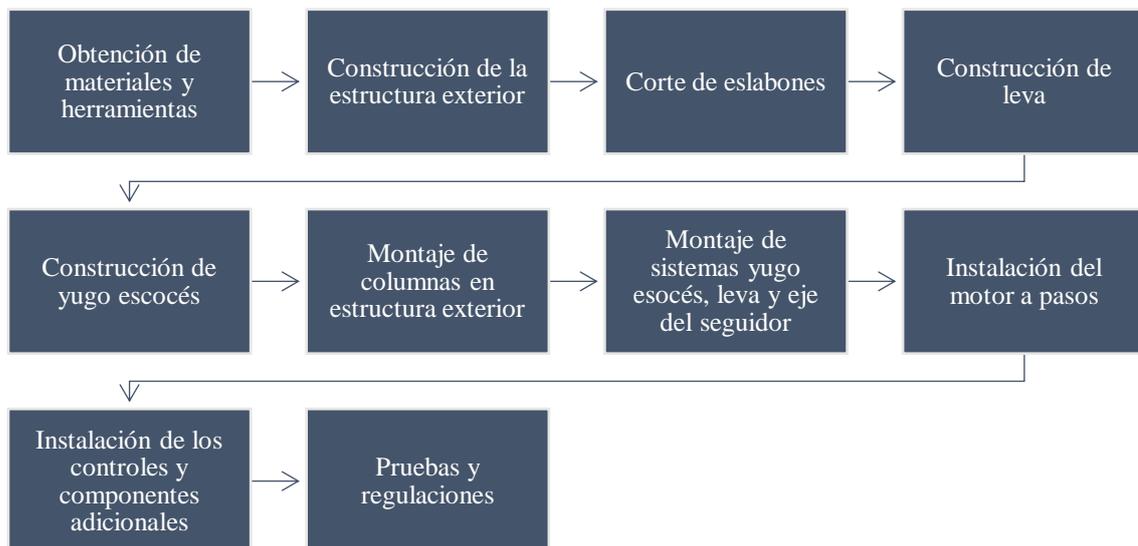


Ilustración 4-1: Proceso general de la construcción de la máquina de serigrafía

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

4.1.2 Equipos y herramientas

El proceso de construcción requiere de equipos y herramientas precisas para su montaje, por lo tanto, se destaca el uso de la cortadora láser, cortadora por hilo y fresadora, así los rangos de tolerancia son más bajos; a continuación, se detallan las utilizadas en todo el proceso:

Tabla 4 – 1: Equipos y herramientas necesarias en la construcción

Ítem	Equipo/Herramienta
1	Cortadora láser
2	Fresadora
3	Torno
4	Taladro de mano
5	Amoladora
6	Sierra de corte de metal
7	Soldadora SMAW
8	Dobladora de chapa metálica
9	Esmeril
10	Cortadora por hilo
11	Flexómetro
12	Martillo
13	Nivel
14	Destornilladores
15	Llaves
16	Electrodos

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

4.1.3 Tiempos de construcción

Los tiempos de construcción contemplan varios aspectos a tomar en cuenta, este comienza desde la adquisición de los materiales de construcción, el transporte de estos, la ejecución del trabajo, la programación de los sistemas de control, las evaluaciones realizadas y la puesta en punto de funcionamiento; por lo tanto, se presentan variaciones en la toma de tiempo por la cantidad de actividades.

Dentro de los rangos establecidos de tiempo se espera que mediante la planificación detallada estos no varíen abundantemente, otro aspecto a considerar es la disponibilidad de máquinas, herramientas y materiales, por ejemplo, existen componentes que necesariamente han sido importados y contemplan una variación de tiempo de lo planificado.

Acto continuo, se presenta el tiempo planificado de trabajo para la máquina de serigrafía, con el punto de variaciones en los mismos.

Tabla 4 – 2: Tiempos de construcción de componentes de la máquina de serigrafía

Componente	Elementos	Nº	Operación	Tiempo (min)
Estructura exterior	Tubo cuadrado de acero 1 ½ in ASTM A-500	1	Trazado	60
		2	Corte	60
		3	Soldado	120
		4	Armado	120
Eslabones	Lámina metálica ASTM A-36 de 3 mm	1	Planeado	120
		2	Corte	30
		3	Montaje	60
Leva	Lámina metálica ASTM A-36 de 6 mm	1	Planeado	45
		2	Corte	10
		3	Soldado	10
		4	Montaje	30
Yugo escocés	Lámina metálica ASTM A-36 de 6 mm	1	Planeado	30
		2	Corte	10
		3	Fresado	240
		4	Roscado	120
		5	Montaje	240
Columnas exteriores	Lámina metálica ASTM A-36 de 6 mm	1	Planeado	45
		2	Corte	15
		3	Montaje	45
Ejes	Eje liso cromado de 16 mm	1	Trazado	5
		2	Corte	30
		3	Montaje	45
Sistema motriz	Motor Nema 34	1	Montaje	15
		2	Soldado	15
Sistema de control	Driver DM DM86H 7A, Logo 24CE, pulsadores	1	Montaje	30
		2	Uniones no permanentes	240
		3	Instalación	60
		4	Comprobación de rapidez	60

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El tiempo utilizado en la construcción y montaje de la máquina, así como de la programación de los sistemas de control es de aproximadamente 1910 *min*, sin contemplar tiempos de adquisición

de componentes y otros imprevistos, así la aproximación en horas de la construcción es de 31 h y 50 min.

4.1.4 Ensamblaje

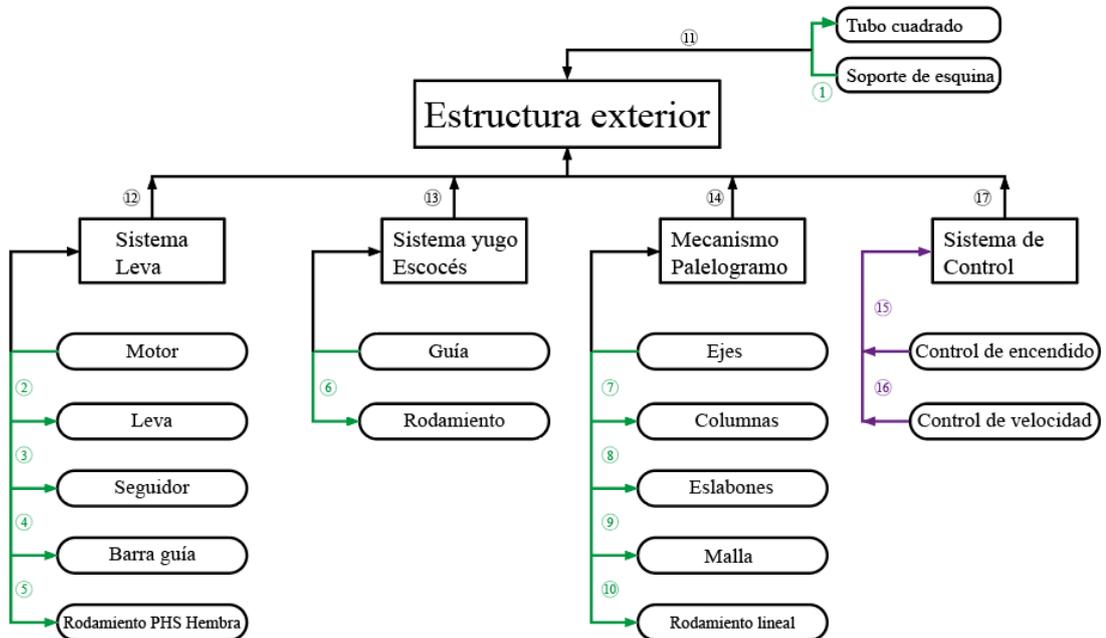


Ilustración 4-2: Diagrama de ensamblaje de la máquina de serigrafía

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Tabla 4 – 3: Tiempos de ensamblaje de los componentes de la máquina de serigrafía

Ítem de ensamblaje	Tiempo (h)
1	1
2	1
3	0,25
4	1,5
5	1
6	2
7	0,5
8	3
9	2
10	0,5
11	1
12	1,5

13	1,5
14	2
15	2
16	2
17	2

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El proceso en general del ensamble contempla un tiempo de 24 h y 15 min, abarcando procesos independientes de subensambles.

4.2 Pruebas del funcionamiento

4.2.1 Pruebas de funcionamiento de la máquina de serigrafía

Las pruebas que se realizan en la máquina respaldan el funcionamiento óptimo de los mecanismos de serigrafiado, es decir, se verifica el cumplimiento de tiempos, acabados superficiales e indicadores visuales que trabajan conjuntamente en todo el proceso. Las evaluaciones establecen parámetros tomados en cuenta antes de la puesta en marcha del dispositivo, de igual manera la empresa requiere de una instalación previa con todos los respaldos de funcionamiento seguro y condiciones estables.

4.2.1.1 Pruebas de tiempo de serigrafiado

El dispositivo de serigrafía está diseñado para que pueda completar un ciclo de trabajo de 100 piezas cilíndricas y cónicas en 5 minutos, es decir, cada pieza debe ser serigrafiada en 3 segundos con una carga de 8 gr de pintura PVC; de igual forma se especifica que la velocidad del motor debe alcanzar por lo menos 20 rpm. Las condiciones de la prueba de tiempo son:

Tipo de pieza: vaso

Material: polipropileno

Dimensiones: altura de 8.5 cm, diámetro superior de 7.5 cm, diámetro inferior 4.5 cm

Forma: cónica

Tipo de pintura: PVC rojo

Tipo de malla: malla de poliéster de 62 hilos por pulgada para textil

Modo de operación: modo 2 en ciclos automáticos

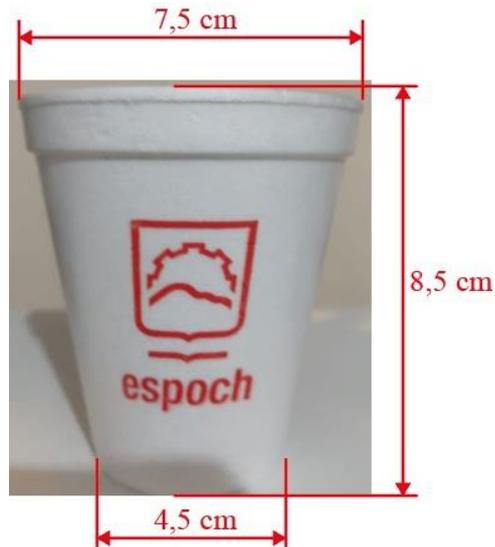


Ilustración 4-3: Parámetros del producto

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

El tiempo contabilizado en la prueba empieza desde el posicionamiento del producto en el molde cónico, una vez establecido el modo de serigrafiado en la máquina se da el proceso como tal y finaliza con la recepción del vaso pigmentado, como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 4-4: Fases de la prueba de tiempo de serigrafiado

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La recepción del tiempo se la lleva a cabo mediante un cronómetro, arrojando los resultados expuestos en la tabla:

Tabla 4 – 4: Pruebas de tiempo de serigrafiado

N.º ensayo	Tiempo ideal [seg]	Tiempo medido [seg]	Valor medio $X - \bar{X}_t$	Desviación Estándar $(X - \bar{X}_t)^2$
1	3	3,10	-0,10	0,0100

2		3,08	-0,08	0,0064
3		3,20	-0,20	0,0400
4		3,05	-0,05	0,0025
5		3,10	-0,10	0,0100
6		2,90	0,10	0,0100
7		3,00	0,00	0,0000
8		2,95	0,05	0,0025
9		3,05	-0,05	0,0025
10		3,04	-0,04	0,0016
		$\bar{X}_t = 3,05$		$\sum = 0.0855$

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La determinación del error absoluto y error relativo establece de manera cuantificada la incertidumbre generada por la toma de datos en la prueba, permitiendo la comprensión de la dispersión de los valores obtenidos en la evaluación y dar al usuario pautas del desenvolvimiento del dispositivo, esta se determina de la siguiente forma:

$$E_A = \sqrt{\frac{\sum_{n=10}^1 (X - \bar{X}_t)^2}{n(n-1)}} \quad (1.4)$$

$$E_R = \frac{E_A}{X} \times 100\% \quad (2.4)$$

En donde:

E_A – Error absoluto

E_R – Error relativo

X – Valor ideal [3 seg]

\bar{X}_t – Valor promedio de las mediciones [3,05 seg]

n – Número de pruebas realizadas [10]

$$E_A = \sqrt{\frac{0.0855}{10(10-1)}}$$

$$E_A = 0.0308$$

$$E_R = \frac{0.0308}{3} \times 100\%$$

$$E_R = 1,027\%$$

El tiempo de serigrafiado de cada pieza es muy pequeño y por ende el error establecido en las pruebas también lo es, así el error relativo solo alcanza el 1,027% que se considera aceptable tomando en cuenta también errores humanos en la toma de datos y otros factores externos.

4.2.1.2 Evaluación del sistema de control

El sistema de control corresponde a la aplicación de la rapidez de serigrafiado, así como del conteo de piezas finalizadas en los indicadores visuales, para esto es necesario un sensor denominado fin de carrera, el cual se activa con el toque de su pestaña, así se tiene un control de la producción establecida. La prueba entonces valida el funcionamiento de los aspectos controlados por el operador como pruebas del encendido, apagado, paro de emergencia, y contador de piezas serigrafiadas y que se visualizan en la pantalla del LOGO.

Las condiciones iniciales entonces se establecen así:

Número de veces que se accionó el encendido: 10

Número de veces que se accionó el apagado: 10

Número de veces que se accionó el paro de emergencia: 10

Cantidad de piezas posicionadas en la máquina y contadas como producción: 10

Finalmente, las acciones mencionadas cumplen satisfactoriamente en todos los aspectos, con un tiempo de respuesta muy bajo y con la precisión requerida, esto contribuye al control de productos, seguridad del proceso y el control en general.

4.2.1.3 Respuesta al ajuste de velocidad

Según el rango de velocidad establecida por el usuario como una exigencia, esta prueba traba de reducir la velocidad del actuador en intervalos de 10 RPM, esto con el fin de determinar el tiempo de respuesta de este, una vez establecido las velocidades angulares en el panel LOGO se toma el tiempo en el que se observa el cambio.

Tabla 4 – 5: Respuesta al ajuste de velocidad

ω inicial [RPM]	ω final [RPM]	Tiempo [seg]
60	50	1,1

50	40	1,2
40	30	1,4
30	20	1,3
20	10	1,2
		$\bar{X}_t = 1,24$

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Se observa en la prueba que el tiempo de respuesta visible de la reducción de la velocidad angular es constante, pues cada intervalo no sobrepasa los 0,3 segundos; por tanto, la prueba se considera como sobresaliente.

4.2.1.4 Resultado final de las pruebas de funcionamiento

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados finales de la máquina de serigrafía en el ámbito funcional, estas pruebas han sido analizadas de manera meticulosa, puesto que aspectos como los tiempos de operación en un ciclo contiene valores muy pequeños y con alta probabilidad de variar por errores humanos, así la última columna explica el estado de las variables en dos aspectos: aprobó o desaprobó según corresponda.

Tabla 4 – 6: Resumen de pruebas de funcionamiento

N. de Prueba	Descripción de la prueba	Resultado esperado	Resultado estadístico	Aprobó / Desaprobó
1	Tiempo de serigrafiado	El proceso de serigrafiado de una pieza debe ser de 3 segundos.	La máquina genera el serigrafiado de cada pieza en 3 ± 0.0308 segundos.	Aprobó
2	Sistema de control	El panel de control genera las señales de encendido, apagado y paro de emergencia según se requiera.	La máquina realiza las actividades según lo requerido en el panel y por el operador de manera eficaz.	Aprobó
3	Respuesta al ajuste de velocidad	Se espera que la variación de velocidad angular tenga una respuesta corta.	El sistema móvil cambia de rapidez en poco tiempo	Aprobó

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La máquina muestra alta satisfacción en las variables controladas e implementadas, especialmente en el sistema de control, por ende las pruebas de funcionamiento se consideran aprobadas en todos los aspectos.

4.2.2 *Pruebas de calidad de la pieza final*

Las evaluaciones de calidad establecen parámetros correspondientes a la satisfacción del usuario con el producto final, en este apartado se examinó estándares como la apariencia visual de la pieza y la conservación de la forma original de la pieza; con ello observar la satisfacción del cliente.

La metodología de valoración de cada criterio es una escala numérica del 1 al 5 que representan detalles cualitativos de “malo”, “insuficiente”, “aceptable”, “bueno” y “excelente” respectivamente. Para el criterio de evaluación se establece modelos de productos elaborados por la propia empresa de manera manual y de otros presentados en el mercado, así ajustarnos a resultados en base a comparación.

4.2.2.1 *Pruebas de apariencia visual*

Uniformidad: El primer criterio de uniformidad en cuanto al aspecto tiene lugar a la cantidad de pintura en cada punto de serigrafiado, este evalúa la existencia o inexistencia de porosidades, por la gran o poca cantidad de pintura que la raqueta empuja en la malla, si existen poros o burbujas puede significar que la pintura está repartida en forma diferente por el empuje uniforme de la raqueta hacia la pieza.

Forma: Este parámetro hace alusión a la forma en la que está serigrafiada la forma o diseño establecido en la malla, si por alguna razón en la malla existe una forma perfecta y en el envase se observa una distorsión este producto contiene deformidades que afectan a la apariencia en general.

Adherencia: Este aspecto de evaluación se refiere a la impregnación de la pintura PVC en la pieza final, por ejemplo, si existen espacios en donde no se observa pintura significaría una baja uniformidad en el serigrafiado o que la preparación previa de la malla ha fallado en cuanto a su diseño.

Tabla 4 – 7: Pruebas de apariencia visual

N. muestra	Uniformidad	Forma	Adherencia
1	4	4	4

2	5	5	5
3	4	4	4
4	5	5	4
5	4	4	5
6	4	4	5
7	4	4	5
8	5	5	4
9	5	4	4
10	5	4	4
\bar{X}_I	4,5	4,3	4,4
\bar{X}_c	5		
Valor promedio \bar{X}_I			
Valor ideal \bar{X}_c			

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

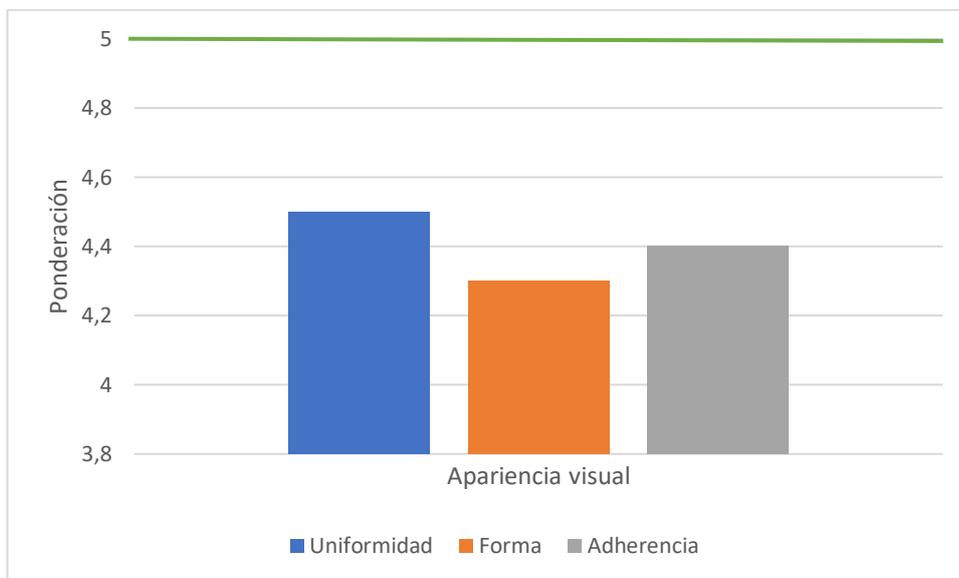


Ilustración 4-5: Evaluación de la apariencia visual de las piezas serigrafiadas

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La ilustración muestra los resultados de la evaluación de la apariencia visual para el usuario, se observa que la variación hacia los resultados óptimos va desde los 0,5 a los 0,7 puntos, por lo tanto, se establece que los resultados resultan satisfactorios con varios aspectos a tomar en cuenta en la mejora, como por ejemplo el diseño en la malla, la cantidad de pintura y demás aspectos.

4.2.2.2 Pruebas de conservación de la pieza

Textura: La conservación de la pieza tiene varios evaluadores a considerar, el primero se define como la cantidad de imperfecciones en el producto en cuanto a la aparición de arrugas, desniveles,

marcas, etc. Estos pueden suponer que la presión ejercida en la pieza es demasiado grande y que conlleva una regulación del nivel de la base rotatoria de ubicación del producto.

Dureza: En cuanto a este parámetro se evalúa que el recipiente conserve la misma flexibilidad que al inicio de la serigrafía, estos posibles cambios se pueden presentar en los materiales frágiles como PET o recipientes de poliestireno expandido que son susceptibles roturas o desgaste.

Forma: Finalmente, la forma que debe salir como producto final debe ser cilíndrica o cónica según corresponda, es decir, las cargas generadas en el envase deben ser suficientes para que el giro no genere deformaciones, pero con la cantidad necesaria para la rotación uniforme, de lo contrario afectaría al aspecto visual de la pintura.

Tabla 4 – 8: Pruebas de conservación de la pieza

N. muestra	Textura	Dureza	Forma
1	5	5	4
2	5	5	5
3	4	4	4
4	5	5	4
5	4	5	5
6	5	4	5
7	4	4	5
8	5	5	4
9	5	5	5
10	5	4	4
\bar{X}_I	4,7	4,6	4,5
\bar{X}_c	5		
Valor promedio \bar{X}_I			
Valor ideal \bar{X}_c			

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

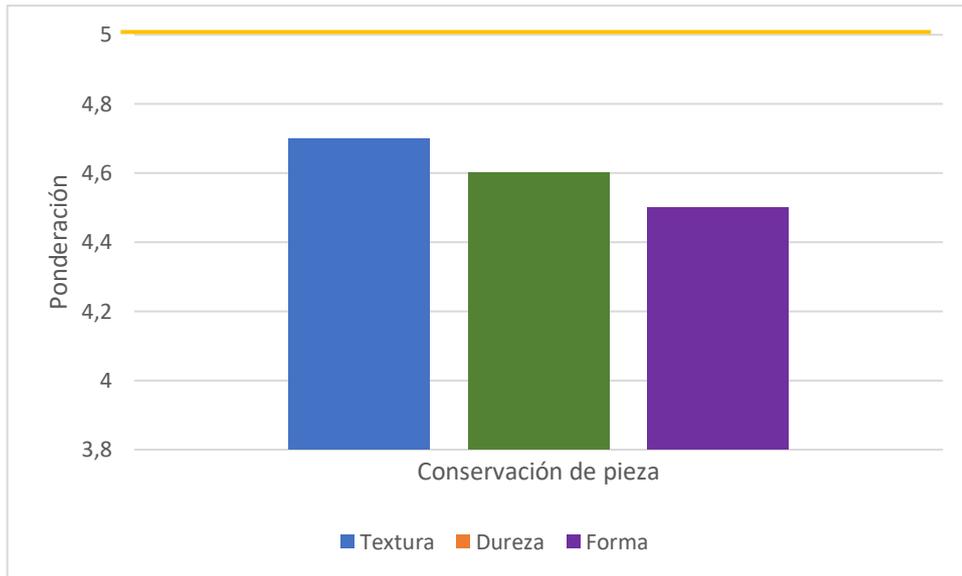


Ilustración 4-6: Evaluación de la conservación de las piezas serigrafiadas

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Como se observa en la evaluación, existe muy poca variación en la conservación de la pieza, su aspecto geométrico no cambia de manera significativa, dando un rango de [0,5 a 0,3] con una máxima en el aspecto de la forma, esto explicado por el material a utilizar.

4.2.2.3 Resultado final de las pruebas de calidad

La conclusión de la evaluación de la calidad de la pieza final resulta satisfactoria tomando en cuenta los valores de ponderación que van de 1 correspondiente a mala, hasta 5 que establece la excelencia, el valor promedio final entonces se encuentra en el rango entre bueno y excelente con 4,5 puntos. Cabe recalcar que varios parámetros contemplan factores externos al diseño de la máquina, puesto que corresponden a la calidad de malla, forma de preparación previa, ajustes en la base rotatoria, calidad de pintura, etc.

Tabla 4 – 9: Ponderación general de las pruebas de calidad

Prueba	Ponderación
Apariencia visual	4,4
Conservación de pieza	4,6
\bar{X}_l	4,5

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

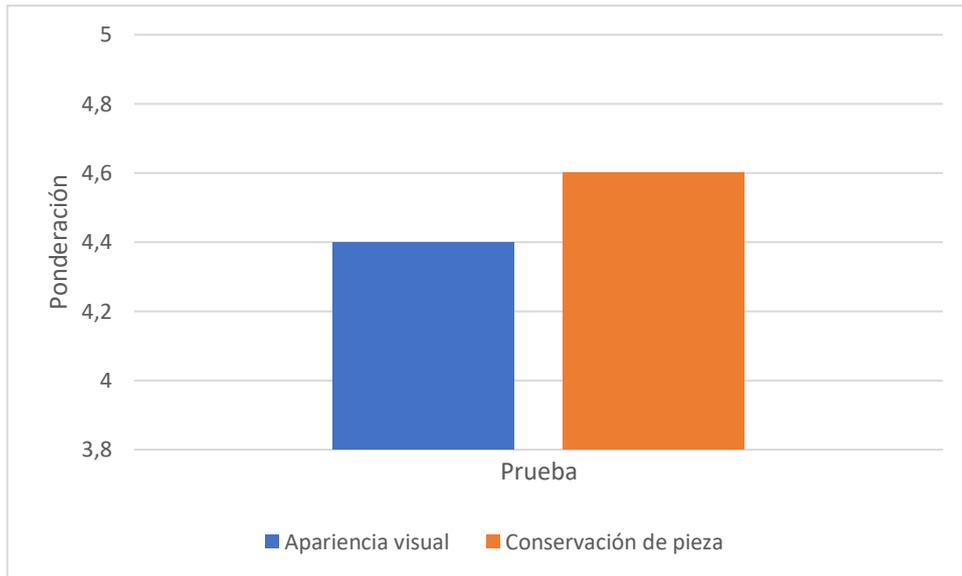


Ilustración 4-7: Ponderación general de las pruebas de calidad

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

4.2.2.4 Análisis de calidad mediante carta C

Una de las herramientas estadísticas que brinda la posibilidad de verificar la viabilidad de el proceso es la carta C, esta nos muestra los límites tanto superiores como inferiores que el producto puede presentar defectos. Para esta evaluación se utilizó un total de 30 piezas serigrafiadas, en cada una de estas se contabiliza la cantidad de defectos.

Tabla 4 – 10: Datos para prueba de calidad mediante carta C

Muestra o Unidad de Inspección	Defectos encontrados	LC	LCS	LCI
1	11	10,267	19,879	0,654
2	12	10,267	19,879	0,654
3	7	10,267	19,879	0,654
4	14	10,267	19,879	0,654
5	7	10,267	19,879	0,654
6	11	10,267	19,879	0,654
7	10	10,267	19,879	0,654
8	9	10,267	19,879	0,654
9	10	10,267	19,879	0,654
10	8	10,267	19,879	0,654
11	10	10,267	19,879	0,654
12	11	10,267	19,879	0,654
13	12	10,267	19,879	0,654
14	11	10,267	19,879	0,654
15	11	10,267	19,879	0,654

16	10	10,267	19,879	0,654
17	9	10,267	19,879	0,654
18	8	10,267	19,879	0,654
19	6	10,267	19,879	0,654
20	8	10,267	19,879	0,654
21	11	10,267	19,879	0,654
22	12	10,267	19,879	0,654
23	15	10,267	19,879	0,654
24	17	10,267	19,879	0,654
25	12	10,267	19,879	0,654
26	10	10,267	19,879	0,654
27	10	10,267	19,879	0,654
28	9	10,267	19,879	0,654
29	9	10,267	19,879	0,654
30	8	10,267	19,879	0,654

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La tabla muestra entonces la cantidad de irregularidades en cada muestra, estas irregularidades pueden ser por poca impregnación de la pintura, partes sin pintar, cantidad de espacios en blanco y defectos en general. Además, muestra que el límite de control es de $LC = 10,267$ y sus límites superior e inferior son: $LCS = 19,879$ y $LCI = 0,654$.

Las ecuaciones se presentan a continuación:

El promedio de defectos de las muestras es:

$$C = \frac{\sum ni}{m} \quad (3.4)$$

Donde:

ni : Cantidad de defectos encontrados

m : Cantidad de muestras analizadas

Sustituyendo:

$$C = \frac{308}{30} = 10,267$$

Para la línea central de control se tiene el mismo valor del promedio.

$$LC = C \quad (4.4)$$

$$LC = 10,267$$

La desviación estándar del proceso es:

$$s = \sqrt{C} \quad (5.4)$$

Donde:

C: Promedio de defectos encontrados

s: Desviación estándar

$$s = \sqrt{10,267}$$

$$s = 3,204$$

El límite de control superior se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$LCS = C + 3\sqrt{C} \quad (6.4)$$

$$LCS = 10,267 + 3\sqrt{10,267}$$

$$LCS = 19,879$$

Finalmente, el límite de control inferior tiene similitud, expresada así:

$$LCI = C - 3\sqrt{C} \quad (7.4)$$

$$LCI = 10,267 - 3\sqrt{10,267}$$

$$LCI = 0,654$$

Estos datos nos permiten entonces establecer una gráfica de control que permite conocer la tolerancia de los defectos en la muestra, como se muestra a continuación:

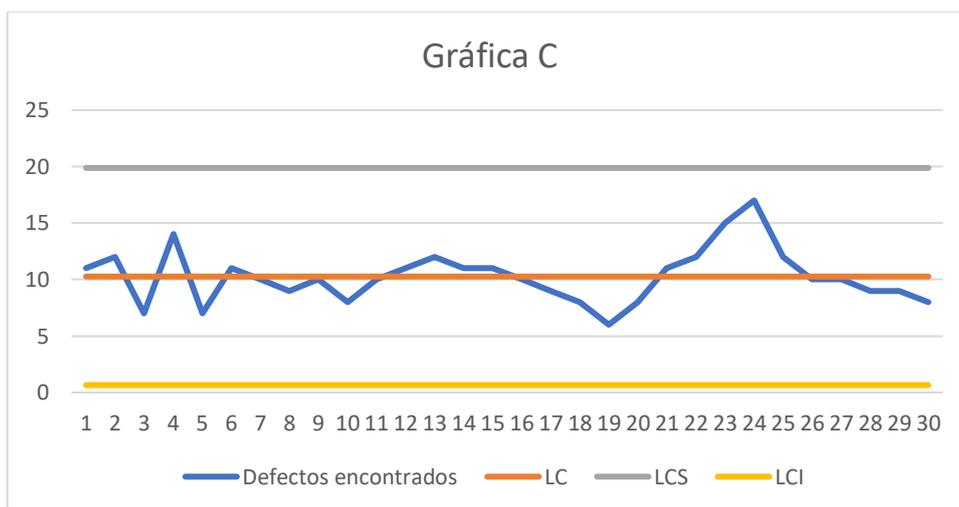


Ilustración 4-8: Gráfica C de defectos en piezas serigrafiadas

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

La gráfica muestra que solamente en la muestra 24 se tiene una cantidad alta de defectos encontrados, pero sin afectar significativamente la calidad de la muestra en general, es decir, ningún elemento sobresale de estos límites y por ende se da como factible la prueba de calidad, con una desviación estándar de 3,204 solamente.

4.3 Costos y mantenimiento

4.3.1 Análisis de costos

En este apartado se detalla la estimación y separación de los gastos vinculados con la construcción de la máquina de serigrafía semiautomática. El propósito principal es determinar el valor total del proyecto considerando los costos directos (mano de obra, gastos operativos, materiales de construcción) y también los costos indirectos (imprevistos, verificación, interés, ingenieriles).

4.3.1.1 Costos directos

En estos costos se detalla los gastos específicos y visiblemente enfocados a la construcción, montaje y desarrollo precisamente del proyecto, en los que se involucra costos de producción. Las siguientes tablas indican los costos a profundidad y específicos.

Tabla 4 – 11: A-Costos de materiales

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unit.	Sub. Total
1	Rodamiento lineal SBR16	U	2	8,55	17,10
2	Plancha Negra A36	U	2	20,22	40,44
3	Barra de acero 760 cuadrado 12x12	cm	79	0,13	10,27
4	Bloque HGH15CA	U	1	22,21	22,21
5	Chumacera piso 12 mm KP001	U	1	3,57	3,57
6	Eje liso cromado 12 mm	m	0,2	20,77	4,15
7	Eje liso cromado 16 mm	m	3,72	22,50	83,70
8	Riel HGR 15R 15 mm	m	0,4	62,88	25,15
9	Rodamiento LMK 16UU	U	11	9,38	103,13
10	Tubo cuadrado negro 1 1/2	U	2	12,62	25,24
11	Soporte de esquina serie 40	U	4	1,56	6,25
12	Motor Nema 34 8,5nm 6A	U	1	150,00	150,00
13	Driver DM DM86H 7A	U	1	66,96	66,96
14	Eje Roscado M10 inox	U	1	11,79	11,79
15	Rodamiento PHS10 Hembra	U	2	4,86	9,72
16	Rodamiento 625-2rs - 000231	U	1	0,89	0,89
17	Pulsadores	U	2	4,80	9,60
18	Fuente De Poder 110v A 24v 20a	U	1	32,00	32,00
19	Pernos de 1/8	U	10	0,30	3,00
20	Potenciómetro	U	1	0,15	0,15
21	Paro de Emergencia	U	1	7,00	7,00
22	Logo PLC Modulo Lógico	U	1	173,00	173,00
				Subtotal A	\$805,32

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Tabla 4 – 12: B-Mano de obra

Ítem	Descripción	Horas-Hombre	Costo/H	Sub. Total
1	Técnico metalmecánico	20	2,94	58,8
2	Ayudante metalmecánico	20	2,9	58
3	Programador	4	3	12
			Subtotal B	\$128,80

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Tabla 4 – 13: C-Costos de equipos y herramientas

Ítem	Descripción	Horas-Equipo	Costo/H	Sub. Total
1	Cortadora láser	1,5	25	37,5
2	Fresadora	8	6,5	52
3	Soladora SMAW	8	1	8
4	Taladro de mano	1	0,38	0,38
5	Amoladora	0,5	0,75	0,375
8	Dobladora de chapa metálica	1	1,5	1,5
9	Torno	8	3,5	28
9	Sierra de corte	0,5	3	1,5
10	Esmeril	0,25	0,8	0,2
11	Cortadora por hilo	0,5	10	5
12	Herramienta menor	6	0,75	4,5
			Subtotal C	\$138,96

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

Tabla 4 – 14: C-Costos directos

Item	Descripción	Sub. Total
A	Materiales	\$805,32
B	Mano de obra	\$128,80
C	Equipos y herramientas	\$138,96
D	Transporte	\$30,00
Sub Total		\$1.103,08

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

4.3.1.2 Costos indirectos

Este apartado detalla los costos que no se deben atribuir a una actividad propia de la construcción del dispositivo, si no que aporta a su elaboración de manera indirecta pero necesaria para su montaje total, por lo que no puede ser atribuido a un solo producto sin usar un criterio de

asignación y por lo tanto se ha aproximado un valor total de estos. A continuación, se presenta una tabla donde se detallan los costos de utilidades, ingenieriles e imprevistos, destacando que la utilidad no va a ser considerada al tratarse de un proyecto financiado.

Tabla 4 – 15: Costos indirectos

Ítem	Descripción	Sub Total
1	Costo ingenieril	110,31
2	Imprevistos	0
3	Utilidad	0
	Sub Total	\$110,31

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

4.3.1.3 Costo total

Ya determinados todos los costos relacionados en la elaboración de la máquina, se establece una tabla que detalla el total utilizado, esta une los dos apartados tomando en cuenta el impuesto al valor agregado (IVA) utilizado al momento de la adquisición de componentes, construcción, ensamblaje que es del 12%.

Tabla 4 – 16: Costos totales

Ítem	Descripción	Sub Total
1	Costos directos	1103,08
2	Costos indirectos	110,31
	Sub Total	\$1.213,39
	IVA 12%	\$145,61
	Total	\$1.358,99

Realizado por: Rivera Bryan; Uzhca, José, 2024

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Mediante el análisis cinemático se ha determinado las magnitudes como rapidez, desplazamiento, aceleraciones y velocidad angular; este último determinado por la exigencia de tiempos de producción de la empresa que requiere alrededor de 1000 piezas/h, así la velocidad del actuador oscila entre los 20 y 60 RPM, determinando así dimensiones en los elementos constructivos. Así mismo la asignación de los mecanismos que permiten el movimiento de ascenso y descenso del marco, malla y raclé que conforman el principal principio del proceso de pigmentación es la conformada por el mecanismo leva-seguidor en conjunto con el yugo escocés, pues su adaptación permite la reducción de mayor número de actuadores utilizados en mecanismos independientes.
- De acuerdo con los requerimientos del proyecto, la selección de los materiales de construcción asegura la robustez de la máquina, esto validado por el análisis técnico-económico donde se muestra los elementos prioritarios constructivos. Una vez seleccionada la alternativa de diseño, el material que conforma la estructura es el acero ASTM A-36, para la elección del actuador se optó por el motor a pasos Nema 36 y un controlador lógico programable PLC; de igual forma los elementos rotativos fueron determinados con la selección de rodamientos lineales estandarizados y elementos de unión permanentes y no permanentes, según sea el caso.
- La simulación de los movimientos de la máquina permitió establecer la cantidad de torque necesario para mover los mecanismos sin problema, además, se estableció un estudio dinámico de los mecanismos para respaldar los resultados, así el torque máximo necesario llegó a aproximadamente los $2.6 N \cdot m$, con ello permitió la selección tanto de motor como de su controlador. Cabe mencionar que no se han expuesto aceleraciones pues casi son despreciables y la rapidez se basa prácticamente a la establecida por el usuario según su demanda.
- Se llevó a cabo la construcción del proyecto principalmente empleando corte láser en los elementos como eslabones, leva y ranuras necesarias, así mismo la utilización de el proceso de fresado para el yugo escocés fue imprescindible por su precisión y gran capacidad de corte. Una vez determinado todos los elementos de la máquina, los métodos de unión se basan en la permanencia permanente o no de los componentes, se utilizó soldadura SMAW en la parte estructural y uniones no permanentes como tornillos en los eslabones, ejes cromados entre otros.

- Mediante el estudio de calidad se determinó la eficiencia del proceso de serigrafiado, la calidad de los productos es muy alta tomando en cuenta aspectos como la adherencia del color y defectos en las formas originales del diseño a serigrafiar. La cantidad de productos finales cumplen con las exigencias de la empresa, pues llega incluso a alcanzar 1200 piezas/hora, si este proceso se realiza sin contratiempos y con el módulo de ciclos automáticos implementado en el proyecto.

5.2 Recomendaciones

- Dentro de las medidas del mantenimiento preventivo de cualquier máquina que utilice elementos rotativos es la lubricación, es por ello por lo que se recomienda esta medida tanto en las guías del seguidor de la leva como en partes rotativas como rodamientos; esto permitirá obtener una vida útil más larga de la máquina. De igual el apriete de elementos de unión es necesario siempre y cuando sea posible y esté dentro del rango de tolerancia, así el ajuste de pernos debe ser considerado como medida de mantenimiento preventivo.
- La limpieza de ejes, eslabones y demás elementos que puedan ser expuestos a la pigmentación en el proceso de serigrafiado es necesaria; pues a pesar de optar por materiales resistentes a desgastes como el acero AISI 4340 en los ejes y recubrimientos con pintura, estos deben ser supervisados constantemente pues permiten el libre desplazamiento de la malla y por ende del proceso en general. La utilización de pintura con altos agentes químicos debe ser seleccionada en base a los materiales de malla y tomando en cuenta la recomendación de limpieza.
- Es imprescindible la puesta en marcha del sistema con un primer ciclo antes optar por el funcionamiento automático, para comprobar la regulación de la pieza dentro de los rodamientos, el ajuste de la carrera de la malla y la rapidez con la que se crea el ciclo, pues este último aspecto cubre posibles accidentes al no tener el suficiente tiempo de para posicionar una nueva pieza, además permite un registro exacto de la producción utilizando el sensor final de carrera SDP.
- En el proceso de serigrafiado en piezas muy frágiles con alta posibilidad de deformación como piezas de poliestireno o polipropileno, es indispensable el uso de moldes adaptados a la forma del producto, con el objetivo de evitar problemas estructurales en los productos finales y conservar la calidad de estos, estos moldes son adaptables al sistema pues la variedad de piezas elaboradas es muy amplia.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACUÑA, A.** *Manual de Serigrafía: Técnicas, Trucos y Recursos en Impresión por Serigrafía* [en línea] 3^a ed. Santiago – Chile: Acuña Ortega Armando Vicente, 2019. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/44544038/Manual_Serigrafia_Armando_Acuna
2. **ALARCÓN ARELLANO, Víctor Josué.** Propuesta de semiautomatización para una máquina de serigrafía cilíndrica (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Zacatenco, México. 2017. pp.14-15 [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/22362>
3. **ÁVILA ILLESCAS, Andrés Eduardo.** Diseño y Construcción para la Automatización de un Sistema de Serigrafía (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Electrónica. Cuenca, Ecuador. 2015. pp. 6-7 [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4898>
4. **CHICAIZA ORTEGA, Oscar Gerardo.** Construcción de un sistema de serigrafía para el estampado de sellos utilizando electroválvulas (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva, Quito, Ecuador. 2019. pp. 25-41 [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/79>
5. **COSMOTEX.** *Textile Machinery Manufactures: Cosmotex* [blog]. [Consulta: 30 octubre 2023] Disponible en: <https://www.cosmotex.net/es/category/maquina-de-serigrafia-textil>
6. **CROMAIBERICA.** *Catálogo: Croma* [blog]. [Consulta: 10 septiembre 2023]. Disponible en: <https://cromaiberica.com/es/maquina-serigrafia-semiautomatica/1074-a-medida.html>
7. **EASYPRINT.** *LC Printing Machine Factory: Easy Print* [blog]. [Consulta: 30 octubre 2023] Disponible en: <https://www.printermaker.com/es/Tank-Screen-Printing-Machine-p.html>
8. **ESCUELA GRÁFICA.** *Máquina Manual Serigrafía: Escuela Gráfica.* [blog]. [Consulta: 10 julio 2023]. Disponible en: <https://www.escuelagrafica.es/es/Product/maquina-manual-serigrafia-textil-1-puesto>
9. **GONZÁLEZ GONZÁLES, Eduardo Alejandro.** Diseño de una máquina semi-automática de serigrafía en superficie cilíndrica y mecánica, para optimizar los costos de producción de ampollitas en la droguería Produpharma, S. A. (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala. 2018. pp. 33 - 53 [Consulta: 2023-11-01]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/8034>
10. **JÄNSCH, J. & BIRKHOFFER, Herbert.** The development of the guideline VDI 2221-the change of direction. En DS 36: Proceedings DESIGN 2006, the 9th International Design

Conference, Dubrovnik, Croatia. 2006. Disponible en: <https://www.designsociety.org/publication/18983/THE+DEVELOPMENT+OF+THE+GUI+DELINE+VDI+2221+-+THE+CHANGE+OF+DIRECTION>

11. **LAGUNA ERAZO, Luis Andrés & LOACHAMÍN NAVARRETE, Víctor Hugo.** Diseño y construcción de una impresora de serigrafía neumática para superficies planas de funcionamiento automático (Trabajo de Titulación) (Superior). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2010. pp. 29 - 116 [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/276>
12. **CASTELLANOS CARDENAS, Daniel Esteban & DAZA MURILLO, Jorge Andrés.** Diseño de una máquina automatizada para serigrafía textil en la empresa Ágil Línea Deportiva en la ciudad de Bogotá D. C. (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Fundación Universidad de América Bogotá, Colombia. 2021. pp. 30-33 [Consulta: 2024-01-03]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8444>
13. **MECHHEAD.** *Ansys Contact Types and Explanations* [blog]. [Consulta: 05 enero 2024]. Disponible en: <https://www.mechead.com/contact-types-and-behaviours-in-ansys/>
14. **MOCHA BABERÁN, Ricardo José.** Diseño y construcción de una máquina serigráfica para impresión a un solo color sobre objetos cilíndricos entre 10 mm y 100 mm de diámetro (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 2016. pp. 12-13 [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12225>
15. **ORTIZ, Ángel & VINTIMILLA, Rommel.** Diseño e implementación de un sistema automatizado para optimizar la fase de impregnación de tinta en el proceso de serigrafía aplicado al estampado de tafletes para sombreros de paja toquilla en la microempresa JO & MI Confecciones. (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Electrónica. Cuenca, Ecuador. 2021. pp. 3-5 [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20075>
16. **PALMETO BLENDED.** *A complete history of screen printing* [blog]. [Consulta: 11 de noviembre 2023]. Disponible en: <https://palmettoblended.com/blogs/news/a-complete-history-of-screen-printing>
17. **RAMÍREZ ZAVALA, Salvador.** Diseño de máquina de serigrafía automatizada (Trabajo de titulación) (Superior). [En línea] Instituto Tecnológico del Sur de Guanajuato. Uriangato, México. pp 14-15 [Consulta: 2023-11-05]. Disponible en: <https://docplayer.es/70180133-Desarrollo-de-maquina-de-serigrafia-automatizada-para-la-industria-textil.html>
18. **VÁZQUEZ FIGUEROA, Carlos.** *Serigrafía*. Tlanepantla-México: Red Tercer Milenio, 2012. pp. 9 – 11. Disponible en: <https://docplayer.es/39129054-Serigrafia-serigrafia.html>

19. **VDI-2221-BLATT 1.** Design of technical products and systems. Parte 1: Model of product design. Disponible en: <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdi-2221-blatt-1-design-of-technical-products-and-systems-model-of-product-design>
20. **VIRTUALEXPO.** *Máquinas y Equipos Industriales: Direct Industry* [blog]. [Consulta: 30 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/m-r/product-172196-1781411.html>
21. **YNVISIBLE.** *What is screen printing? How it works, benefits & applications* [blog]. Vancouver: 2021. Consulta: 11 de noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.ynvisible.com/news-inspiration/what-is-screen-printing>



ANEXOS

ANEXO A: SELECCIÓN DE BLOQUE PARA GUÍA DE MOVIMIENTO.

	Riel EGR20R HIWIN
	Bloque HGH15CA
	Bloque HGW15CC
	Riel HGR15R
	Bloque HGH20CA
	Bloque HGW20CC
	Bloque HGH20HA
	Riel HGR20R
	Bloque HGH25CA
	Bloque HGW25CC
	Bloque HGH25HA
	Riel HGR25R
	Bloque HGH35CA
	Bloque HGW35CC
	Riel HGR35R
Bloque HGH45CA	

ANEXO B: SELECCIÓN DE BLOQUE LINEA PARA SUJECCIÓN DE YUGO.

	Bloque lineal SC8UU
	Bloque lineal SC10UU
	Bloque lineal SC12UU
	Bloque lineal SC16UU
	Bloque lineal SC20UU
	Bloque lineal SC25UU
	Bloque lineal SCS8LUU
	Bloque lineal SC10LUU
	Bloque lineal SC12LUU
	Bloque lineal SC16LUU

ANEXO C: SELECCIÓN DE RODAMIENTO PHS10 PARA EJE DE SUBIDA.

	Bloque lineal SCS8LUU
	Bloque lineal SC10LUU
	Bloque lineal SC12LUU
	Bloque lineal SC16LUU
	Rodamiento PHS5 hembra
	Rodamiento PHS6 hembra
	Rodamiento PHS8 hembra
	Rodamiento PHS10 hembra
	Rodamiento PHS12 hembra
	Rodamiento PHS18 hembra

ANEXO D: SELECCIÓN DE MOTOR NEMA 34 DE 8.5 Nm.

	NEMA 23 57BYGH112-3004 112mm 3Nm , 424.83oz.in		
	Motor Nema 23 de lazo cerrado + Driver STM32	MKS SERVO57B NEMA23 STM32 closed	
	Motor Nema 23 57HD6013-03 6mm Long, 3A	3C400	
	Motor Nema 23 2.2Nm		SZGH
	Caja reductora Nema 23 para eje 8mm Ratio 5:1		
	Motor NEMA 34 34HS2403-32A14 Híbrido 7Nm-6Amp-(20-60vdc)		
	Motor Nema 34 86BYGH118-6004 8.5Nm, 1203.71oz.in 6A		
	Motor Nema 34 8.5Nm		SZGH

ANEXO E: SELECCIÓN DRIVER DM860H PARA NEMA 34.

	2500ppr con encoder de 2500ppr	
	Driver DM542 para Nema23 Peak 4.2A	AC/DC
	Driver DM556 para Nema24 Peak 5.6A	AC/DC
	Driver TB6600 para Nema 17 -Nema 23	DC
	Driver DM542 para Nema23 Peak 4.2A	DC
	Driver DM556 para Nema23 Peak 5.6A	DC
	Driver DM860H para NEMA 34 6A	DC
	Driver DM580S CLOUDRAY Peak 8A	DC
	DRIVER DM2722A	DC

ANEXO F: SELECCIÓN DE FUENTE CONMUTADA DE 24 V.

	Fuente de poder 12 V 3A	S40W-12V3A
	Fuente de poder 12 V 5A	S60W-12V5AS
	Fuente de poder 12V 240W 20A	215x115x50mm
	Fuente de poder 24V 600W 15A	215x115x50mm

ANEXO G: SELECCIÓN DE TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO PARA LA BASE.

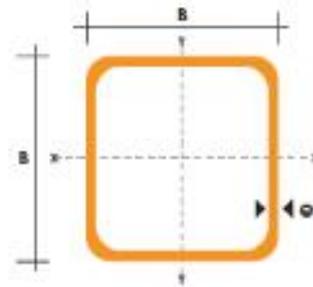
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPELOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,58
40	2,0	2,41	2,94	8,03	3,46	1,84
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,82
50	1,5	2,29	2,85	11,08	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,08	2,38



ANEXO H: SELECCIÓN DE EJE LISO PARA LA TRANSMISION DE MOVIMIENTO.

	Eje liso D6mm
	Eje liso D8mm
	Eje liso D10mm
	Eje liso D12mm
	Eje liso D16mm
	Eje liso D20mm
	Eje liso D25mm
	Eje liso D30mm

ANEXO I: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE CONTRUCCIÓN.



ANEXO J: CORTE DE PLANCHA PARA ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.



ANEXO K: CONSTRUCCIÓN DE BASE ESTRUCTURAL DE LA MÁQUINA DE SERIGRAFÍA.



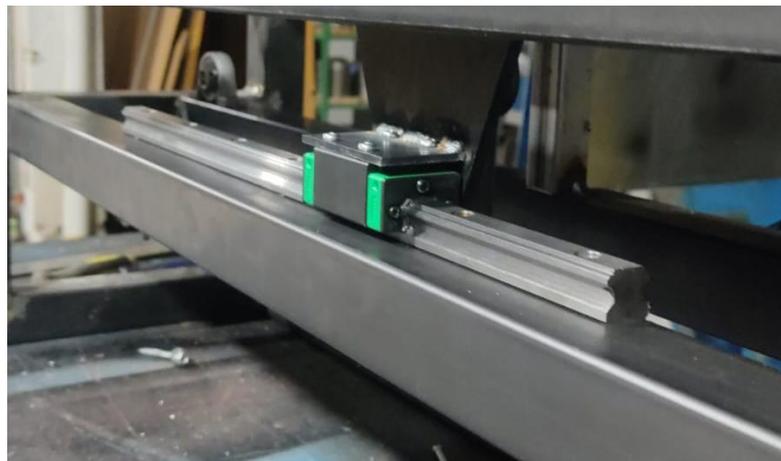
ANEXO L: CORTE DE PIEZAS EN CORTE LÁSER DE METAL.



ANEXO M: CORTE EN PLANCHA DE LA LEVA.

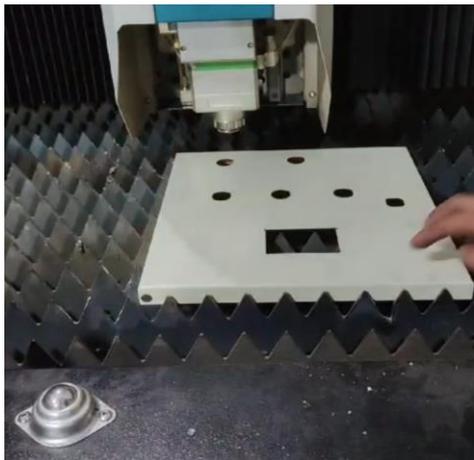


ANEXO N: ENSAMBLE DE LOS MECANISMO DE LA MÁQUINA.





ANEXO O: CONSTRUCCIÓN DE TABLERO DE CONTROL AUTOMÁTICO.



ANEXO P: TORNEADO DE LA BASE PARA VASO TÉRMICO.



ANEXO Q: REVELADO DE LA MALLA PARA EL PROCESO DE SERIGRAFÍA.



ANEXO R: PRUEBA DE MOVIMIENTO DE LA MÁQUINA.



ANEXO S: PINTADO DE LA MÁQUINA.



ANEXO T: PRODUCTOS SERIGRAFIADOS.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 17/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: BRYAN FERNANDO RIVERA OÑA JOSÉ DAVID UZHCA MEJÍA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MECÁNICA
Título a optar: INGENIERO MECÁNICO
<p style="text-align: center;"> Ing. Santiago Alejandro López Ortiz Director del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Gabriel Vinicio Moreano Sánchez Asesor del Trabajo de Integración Curricular</p>