



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA IMPRESIÓN DE ESTAMPAS DE MATRICES EN
RELIEVE, EN PLANO Y EN HUECO DIRIGIDO A LA GRÁFICA**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. HERMES ALEJANDRO TAPIA ESCALERA

TUTOR PRINCIPAL
DR. LEOPOLDO ADRIÁN GONZÁLEZ GONZÁLEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX., NOVIEMBRE

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

Secretario: Dr. Borja Ramírez Vicente

Vocal: Dr. González González Leopoldo A.

1^{er.} Suplente: Dr. Espinosa Bautista Adrián

2^{d o.} Suplente: Dr. Rocha Cózatl Edmundo Gabriel

Lugar donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, CDMX.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Leopoldo Adrián González González

DEDICATORIAS

A mis padres a quienes siempre me han impulsado y apoyado en todo momento, a quienes les debo todo.

A mis hermanos, a Paris que siempre ha sido un ejemplo de superación personal para mí y mi principal razón de superarme a mí mismo; a Ares por quien me esfuerzo para ser un buen ejemplo a seguir y que mis acciones le ayuden a trazar su propio camino.

A mi tutor Leopoldo por sus enseñanzas y amistad que inculcaron en mí la pasión por el diseño mecánico.

A mis amigos, con quienes siempre he tenido momentos de felicidad y me han apoyado en todo momento.

A mi novia Nancy quien me dio la motivación y apoyo para finalizar esta etapa de mi vida y quien me impulsó a superarme a mí mismo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por formarme como un profesionalista capaz de enfrentarse a cualquier reto que ponga la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo financiero y permitir la conclusión de este proyecto.

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
Justificación del proyecto	2
Alcance del proyecto	2
Descripción del proyecto	3
CAPÍTULO 1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	5
1.1. El grabado y la estampa	5
1.1.1. Definición del grabado	5
1.1.2. La estampa	6
1.1.3. Clasificación del grabado	6
1.2. Técnicas de grabado.....	6
1.2.1. Grabado en relieve.....	7
1.2.2. Grabado en hueco.....	8
1.2.3. Grabado en plano.....	10
1.2.4. Grabado de tamiz.....	11
1.3. Tipos de prensas	11
1.3.1. Estampado manual.....	11
1.3.2. Prensa Vertical	12
1.3.3. Prensa de arrastre o litográfica	14
1.3.4. Tórculo.....	15
1.4. Máquinas comerciales.....	16
1.4.1. Tórculos en el mercado internacional.....	16
1.4.2. Tórculos en el mercado nacional	18
1.4.3. Conclusiones de las máquinas comerciales.	21
CAPÍTULO 2 DISEÑO CONCEPTUAL	22
2.1. Requerimientos generales definidos por el usuario	22
2.1.1. Requerimientos y especificaciones	23
2.2. Diagrama de caja negra	24
2.3. Diagrama de sistemas.....	25
2.4. Matriz morfológica.....	26

2.4.1. Alternativas de solución de máquinas comerciales	26
2.4.2. Matriz morfológica	31
2.5. Selección de alternativas de solución	33
2.5.1. Primera selección de alternativas de solución	33
2.5.2. Segunda selección de alternativas de solución	37
2.6. Generación de alternativas de solución con TRIZ	39
2.6.1. Utilización de la matriz de contradicciones para cada sistema.....	40
2.7. Criterio de factor de peso y matriz de decisión	59
2.7.1. Sistema estructural (SE)	59
2.7.2. Sistema de soporte de matriz (SSM).....	61
2.7.3. Sistema de precisión para la colocación del papel y la matriz (SPM)	64
2.7.4. Sistema de apoyo para la colocación del papel (SAP)	66
2.7.5. Sistema de interacción con el usuario (SIU)	69
2.7.6. Sistema de desplazamiento (SDA).....	72
2.7.7. Sistema de aplicación de presión (SP)	74
2.7.8. Sistema de control de presión (SCP)	77
2.7.9. Sistema de visualización (SV)	80
2.8. Tercera propuesta de configuración.....	82
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE DETALLE	87
3.1. El elemento crítico, sistema de aplicación de presión	87
3.1.1. Antecedentes del proceso de laminación	87
3.1.2. Análisis de ingeniería para el proceso de impresiones artísticas	89
3.1.3. Selección de material para los rodillos de impresión.....	94
3.1.4. Criterio de rigidez del rodillo	106
3.1.5. Selección de rodamientos	108
3.2. Elementos de control.....	111
3.2.1. Carga máxima del tornillo de precisión.....	112
3.2.2. Precisión de avance mínimo.	113
3.2.3. Selección del tornillo comercial.	116
3.2.4. Selección del motor	118
3.3. Detalle del sistema de soporte de piezas artísticas	120
3.3.1. Análisis de ingeniería para el sistema de soporte de piezas artísticas. ..	121

3.3.2. Selección del material para la platina.....	123
3.4. Especificación del volante y del motor.....	130
3.5. Modelo CAD.....	131
CAPÍTULO 4 MODELO FUNCIONAL Y PRUEBAS DE IMPRESIÓN.....	135
4.1. Estaciones de trabajo.....	139
4.2. Procedimiento para la elaboración de la matriz.....	140
4.2.1. Descripción del procedimiento general.....	140
4.2.2. Fabricación de matrices para pruebas de impresión.....	143
4.3. Descripción de la etapa de pruebas para impresión.....	145
4.4. Descripción de la etapa de impresión de tiraje.....	147
4.5. Configuración del sistema de control.....	148
4.5.1. Uso del Software de control.....	148
4.5.2. Calibración de los Motores.....	153
4.6. Experimentación.....	161
4.6.1. Prueba de transfer.....	161
4.6.2. Diseño de experimento del modelo funcional para la realización de impresiones artísticas.....	164
4.6.3. Experimentación con el modelo funcional.....	171
4.6.4. Opinión de la comunidad de artes sobre el modelo funcional.....	182
CONCLUSIONES.....	191
REFERENCIAS.....	194
ANEXO 1. LA MATRIZ DE CONTRADICCIONES DE TRIZ.....	196
Tabla A-1 Los 39 parámetros técnicos de Altshuller.....	197
Tabla A-2 Los 40 principios inventivos.....	197
Figura A-1 Matriz de contradicciones de TRIZ.....	198
ANEXO 2 ENCUESTA REALIZADA A LA COMUNIDAD DE ARTES.....	199
ANEXO 3 PLANOS DE FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA IMPRESIÓN DE ESTAMPAS DE MATRICES EN RELIEVE EN PLANO Y EN HUECO.....	208
ANEXO 4 PLANOS DE FABRICACIÓN DEL MODELO FUNCIONAL.....	221

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.- Clasificación de la gráfica con base en donde se deposita la tinta (Catafal,2009).....	6
Figura 1-2 Ejemplo de Xilografía (SlideShare,2018)	7
Figura 1-3 Ejemplo de grabado con punta seca (Totenart, 2018)	8
Figura 1-4 Ejemplo de grabado verde (Taller Eco-Grabado,2018)	9
Figura 1-5 Ejemplo de litografía (Praefcke, 2018).....	10
Figura 1-6 Ejemplo de serigrafía (Doble Vela®, 2018)	11
Figura 1-7 Ejemplo de estampado manual (Vostok Printing Shop®, 2018)	12
Figura 1-8.- Prensa vertical manual (Todoart, 2016).....	13
Figura 1-9.- Prensa vertical hidráulica (Arteina, 2016)	14
Figura 1-10.- Prensa litográfica (Todoart,2016)	15
Figura 1-11.- Tórculo en un taller (Targowisko, 2016)	15
Figura 1-12.- Tórculo Ribes Modelo TC800/2 (Tórculos Ribes, 2016)	16
Figura 1-13.- Tórculo Ribes eléctrico Mod. GF1350 (Tórculos Ribes, 2016).....	17
Figura 2-1 Diagrama de caja negra	24
Figura 2-2 Diagrama de sistemas.....	25
Figura 2-3 Sistemas del tórculo modelo austero de la empresa AceroarteCDMX ..	27
Figura 2-4 sistemas del tórculo de gran formato	28
Figura 2-5 sistemas de la prensa manual	29
Figura 2-6 Orden de selección para la primer propuesta de configuración	34
Figura 2-7 Diagrama de sistemas con alternativas de solución	35
Figura 2-8 Primera propuesta de configuración con identificación de alternativas	35
Figura 2-9 Perspectiva caballera de la primer propuesta de configuración	36
Figura 2-10 Zonas en las que se realizaron observaciones de la primera propuesta de configuración	37
Figura 2-11 Orden de selección para la segunda propuesta de configuración.....	37
Figura 2-12 Segunda propuesta de configuración con identificación de alternativas.	38
Figura 2-13 Propuestas para producir la rotación del rodillo inferior.....	38
Figura 2-14 Perspectiva caballera de la segunda propuesta de configuración.....	39
Figura 2-15 Alternativa actual del SE.....	40
Figura 2-16 Alternativa actual del SSM	42
Figura 2-17 Alternativa actual del SPM	44
Figura 2-18 Alternativa actual del SAP.....	47
Figura 2-19 Alternativa actual del SDA	49
Figura 2-20 Alternativa actual del SP	52
Figura 2-21 Alternativa actual del SCP	55
Figura 2-22 Alternativa actual del SIU	58
Figura 2-23 Alternativa actual del SV	58
Figura 2-24 Tercera propuesta de configuración	84
Figura 2-25 Módulo de impresión.....	85

Figura 2-26 Módulo de apoyo para la colocación del papel	85
Figura 3-1 Proceso de laminado.....	88
Figura 3-2 Forma de las fuerza aplicada sobre el rodillo	90
Figura 3-3 Diagrama de cuerpo libre de la distribución de fuerza sobre los rodillos de impresión	96
Figura 3-4 Gráfica de materiales de esfuerzo de cedencia contra densidad, Base de datos nivel 2.....	100
Figura 3-5 Gráfica de materiales de esfuerzo de cedencia contra densidad por precio, base de datos Nivel 2.....	100
Figura 3-6 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3. Pate superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio	102
Figura 3-7 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3 y familias descartadas. Pate superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio	103
Figura 3-8 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3, familias descartadas y disponibilidad de materiales en la Ciudad de México. Pate superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio	104
Figura 3-9 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3 y los posibles materiales para la fabricación de los rodillos de impresión. Pate superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio.....	105
Figura 3-10 Diagrama de cuerpo libre para evaluar la rigidez necesaria de los rodillos de impresión	107
Figura 3-11 Diagrama de cuerpo libre para el analisis de la reacción en los puntos de apoyo de los rodillos de impresión	108
Figura 3-12 Análisis por elemento finito en secciones de concentración de esfuerzos de los rodillos de impresión.....	110
Figura 3-13 Ensamble para el sistema de precisión	112
Figura 3-14 Diagrama de cuerpo libre para el analisis de la carga que debe soportar el sistema de precisión	113
Figura 3-15 Cambio de espesor del material durante el proceso de laminado....	114
Figura 3-16 Diagrama de cuerpo libre para identificar la carga que debe soportar el tornillo de precisión.....	116
Figura 3-17 Diagrama proporcionado por Thomson Industriues, Inc.® para la slección del tornillo de precisión con base en la carga compresiva máxima que debe soportar.....	117
Figura 3-18 Diferentes ecenarios de instalación de los rodamientos para identificar el que mas se asemeje al usado por el usuario y asi seleccionar el tornillo de precisión adecuado.....	118
Figura 3-19 Ensamble comercial de motor Nema con tornillo de rosca ACME modelo ML23A155 S M10-02-40000P FSS-001	118

Figura 3-20 Gama de tornillos con motor integrado de Thomson Industries, Inc.®	119
Figura 3-21 Rosca para tornillo ACME modelo SNAB10X2M	120
Figura 3-22 Ubicación de apoyos para el sistema de precisión	120
Figura 3-23 Ubicación del grabado durante el proceso de estampado	121
Figura 3-24 Diagrama de cuerpo libre de la platina durante el proceso de estampado	121
Figura 3-25 Área donde se aplica la carga de compresión sobre la platina	122
Figura 3-26 Zona crítica de aplicación de la carga sobre la platina	122
Figura 3-27 Relación de esfuerzo de cedencia contra densidad para la selección de material de la platina. Base de datos nivel 2.	125
Figura 3-28 Relación de esfuerzo de cedencia contra densidad por costo para la selección de material de la platina. Base de datos nivel 2.	125
Figura 3-29 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3, familias descartadas y disponibilidad de materiales en la Ciudad de México para la platina. Parte superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio	127
Figura 3-30 Análisis de elemento finito sobre la platina donde se evalúa su deformación durante el proceso de estampado.	129
Figura 3-31 Propuesta de fabricación de la platina placas de nylon comerciales	130
Figura 3-32 Modelo CAD de la máquina para la realización de impresiones artísticas	132
Figura 3-33 Ubicación del sistema de control en el modelo CAD	133
Figura 3-34 Modelo CAD del sistema de control.....	134
Figura 4-1 Fotografía del modelo funcional.....	135
Figura 4-2 Proceso de diseño del modelo funcional	136
Figura 4-3 Proceso de diseño del sistema de soporte de la matriz y precisión para la colocación del papel	137
Figura 4-4 Proceso de diseño para el sistema de desplazamiento	137
Figura 4-5 Proceso de diseño para el sistema de aplicación de presión.....	138
Figura 4-6 Proceso de diseño para el sistema de control de presión	138
Figura 4-7 Sistema de interacción con el usuario.....	139
Figura 4-8 Grabado y su estampa.....	143
Figura 4-9 Proceso de fabricación de las matrices	144
Figura 4-10 Diseños de las matrices	144
Figura 4-11 Gubias	145
Figura 4-12 Matrices fabricadas.....	145
Figura 4-13 Proceso de impresión de estampa piloto	147
Figura 4-14 Proceso de impresión de tiraje de estampas	148
Figura 4-15 Interfaz del software de control.....	149
Figura 4-16 Interfaz de conexión con el Arduino UNO®	150
Figura 4-17 Indicación de conexión exitosa y comando para administrar parámetros de control del software	150

Figura 4-18 Lista de los parametros de control	151
Figura 4-19 Interfaz interactiva para controlar el modelo funcional.....	152
Figura 4-20 Relación de movimiento entre el modelo funcional y los comandos ingresados en el software de control.....	153
Figura 4-21 Distancia medida para calibrar el desplazamiento de los rodillos	154
Figura 4-22 Fotografía de la prueba de transfer	162
Figura 4-23 Fotografía al momento de levantar el papel después de la prueba de transfer	163
Figura 4-24 Resultados de la prueba de transfer	163
Figura 4-25 Ejemplo de comparación de de impresión piloto contra el tiraje	166
Figura 4-26 Ejemplo de comparación de distorsiones en el tiraje	167
Figura 4-27 Ejemplo de acercamiento para identificar distorsiones en el tiraje	168
Figura 4-28 Fotografía de la matriz entintada antes de realizar el proceso de estampado	172
Figura 4-29 Plantilla para el analisis del tiraje impreso	174
Figura 4-30 Cantidad de personas encuestadas y sus edades	182
Figura 4-31 Sexo de las personas encuestadas	182
Figura 4-32 Ocupación de los encuestados	183
Figura 4-33 Impresión del encuestado sobre el modelo funcional	184
Figura 4-34 Impresión del encuestado sobre la platina	185
Figura 4-35 Uso de los motores de control por el objeto de estudio	186
Figura 4-36 Preferencia de control del modelo funcional	187
Figura 4-37 Opinión de los encuestados sobre la interfaz de usuario	187
Figura 4-38 Opinión de los encuestados sobre la interfaz de usuario con instrucciones sencillas.....	188
Figura 4-39 Opinión sobre si compraría la máquina si esta estuviese a la venta...	189
Figura 4-40 Razones por las cuales el encuestado compraría la máquina	190
Figura 4-41 Preferencia del modo de impresión	190

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.- Tabla de las especificaciones comerciales del tórculo Ribs Mod. TC800/2	17
Tabla 1-2.- Tabla de las especificaciones comerciales del tórculo Ribs eléctrico Mod. GF1350	18
Tabla 1-3.- Tabla con las especificaciones del sistema eléctrico del tórculo Ribs Eléctrico	18
Tabla 1-4 Tabla de precios de algunos tórculos en el mercado nacional	19
Tabla 1-5.- Tabla de tórculos de la empresa Aceroarte CDMX (Aceroarte, 2016) ..	20
Tabla 2-1.- Tabla de requerimientos y especificaciones	24
Tabla 2-2.- Tabla de sistemas para la máquina de impresiones artísticas	26
Tabla 2-3.- Tabla de las alternativas de solución para el tórculo	28
Tabla 2-4.- Tabla de las alternativas de solución para la prensa manual	30
Tabla 2-5 Alternativas de solución de las máquinas comerciales	31
Tabla 2-6 Matriz Morfológica	32
Tabla 2-7 Parámetros de Atshuller aplicables al SE	40
Tabla 2-8 Principales contradicciones del SE	41
Tabla 2-9.- Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SE	42
Tabla 2-10 Nuevas alternativas de solución para el SE	42
Tabla 2-11 Parámetros de Atshuller aplicables al SSM	43
Tabla 2-12 Principales contradicciones del SSM	43
Tabla 2-13 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SSM	44
Tabla 2-14 Nuevas alternativas de solución para el SSM	44
Tabla 2-15 Parámetros de Atshuller aplicables al SPM	45
Tabla 2-16 Principales contradicciones del SPM	45
Tabla 2-17 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SPM	46
Tabla 2-18 Nuevas alternativas de solución para el SPM	46
Tabla 2-19 Parámetros de Atshuller aplicables al SAP	47
Tabla 2-20 Principales contradicciones del SAP	47
Tabla 2-21 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SAP	49
Tabla 2-22 Nuevas alternativas de solución para el SAP	49
Tabla 2-23 Parámetros de Atshuller aplicables al SDA	50
Tabla 2-24 Principales contradicciones del SDA	50
Tabla 2-25 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SDA	52
Tabla 2-26 Nuevas alternativas de solución para el SDA	52
Tabla 2-27 Parámetros de Atshuller aplicables al SP	53
Tabla 2-28 Principales contradicciones del SP	53
Tabla 2-29 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SP	55
Tabla 2-30 Nuevas alternativas de solución para el SP	55
Tabla 2-31 Parámetros de Atshuller aplicables al SCP	56
Tabla 2-32 Principales contradicciones del SCP	56
Tabla 2-33 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SCP	57
Tabla 2-34 Nuevas alternativas de solución para el SCP	58

Tabla 2-35 Nuevas alternativas de solución para el SIU	58
Tabla 2-36 Nuevas alternativas de solución para el SV	59
Tabla 2-37 Criterios que debe cumplir el sistema estructural	59
Tabla 2-38 Tabla de factor de peso del SE	60
Tabla 2-39 Matriz de decisión para el SE	61
Tabla 2-40 Requerimientos que se aplican al sistema de soporte de matriz.....	62
Tabla 2-41 Factor de peso para el SSM	63
Tabla 2-42 Matriz de decisión para el SSM	64
Tabla 2-43 Sistema de precisión para la colocación del papel y la matriz (SPM) ..	65
Tabla 2-44 Factor de peso para el SPM	65
Tabla 2-45 Matriz de decisión para el SPM.....	66
Tabla 2-46.- Requerimientos para el Sistema de apoyo para la colocación del papel (SAP)	67
Tabla 2-47 Factor de peso para el SAP	68
Tabla 2-48 Matriz de decisión para el SAP	69
Tabla 2-49.- Requerimientos para el Sistema de interacción con el usuario (SIU) ...	70
Tabla 2-50 Factor de peso para el SIU	70
Tabla 2-51 Matriz de decisión para el SIU	72
Tabla 2-52.- Requerimientos para el Sistema de desplazamiento (SDA)	72
Tabla 2-53 Factor de peso del SDA	73
Tabla 2-54 Matriz de decisión para el SDA.....	74
Tabla 2-55 Requerimientos para el Sistema de aplicación de presión (SP)	75
Tabla 2-56 Factor de peso del SP	76
Tabla 2-57 Matriz de decisión para el SP	77
Tabla 2-58 Requerimientos para el Sistema de control de presión (SCP)	78
Tabla 2-59.- Factor de peso del SCP	79
Tabla 2-60 Matriz de decisión para el SCP	80
Tabla 2-61 Requerimientos de Sistema de visualización (SV)	81
Tabla 2-62 Factor de peso del SV	81
Tabla 2-63 Matriz de decisión para el SV.....	82
Tabla 2-64 Opciones ganadoras de cada sistema	84
Tabla 3-1 Dimensiones del rodillo de laminación y ancho máximo del material.....	90
Tabla 3-2 Fuerza, Par, Potencia calculados con el criterio de presión máxima de 490 MPa	92
Tabla 3-3 Valores del cambio de espesor de una lámina de aluminio	93
Tabla 3-4 Resultados del cálculo de fuerza máxima al usar el criterio de deformación del material.....	93
Tabla 3-5 Fuerza, Par, Potencia calculados con el criterio de deformación del material y radio de rodillo de 90 mm.....	93
Tabla 3-6 Restricciones de diseño para la selección del material de los rodillos.....	95
Tabla 3-7 Tabla base para la selección del material	95
Tabla 3-8 Familias de materiales descartadas para la selección del material de los rodillos	103

Tabla 3-9 Posibles materiales para la fabricación de los rodillos de impresión	106
Tabla 3-10 Descripción de las variables de la ecuación de rigidez.....	107
Tabla 3-11 Rodamientos comerciales que cumplen con las especificaciones del diseño.....	109
Tabla 3-12 Iteraciones del analisis de elemento finito para diferentes medidas comerciales de rodillo y modelos de rodamiento.....	111
Tabla 3-13 Dimensiones finales de los rodillos de impresión	111
Tabla 3-14 Iteraciones para encontrar la deformación que no sobrepase el esfuerzo de cedencia de diferentes calibres de lamina de aluminio.....	115
Tabla 3-15 Iteraciones para encontrar la deformación que no sobrepase el esfuerzo de cedencia de diferentes calibres de lamina de cobre.....	115
Tabla 3-16 Planteamiento de la selección del material para la platina	123
Tabla 3-17 Posibles materiales para la fabricación de la platina.....	128
Tabla 3-18 Densidad y módulo de Young de los posibles materiales para fabricar la platina.....	128
Tabla 3-19 Datos para determinar el tamaño del volante y la potencia requerida por el motor	130
Tabla 3-20 Especificaciones técnicas del diseño final	132
Tabla 4-1 Especificaciones del modelo funcional	136
Tabla 4-2 Identificación de las estaciones de trabajo	140
Tabla 4-3 Tabla de materiales para matrices y descripción de alguna técnicas .	142
Tabla 4-4 Variables manipuladas en el software de control para calibrar los motores del modelo funcional.....	151
Tabla 4-5 Parametros modificados para las pruebas de calibración de los motores	154
Tabla 4-6 Ajustes de la prueba 1	155
Tabla 4-7 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 1	155
Tabla 4-8 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 1.....	155
Tabla 4-9 Ajustes de la prueba 2	155
Tabla 4-10 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 2	156
Tabla 4-11 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 2	156
Tabla 4-12 Ajustes de la prueba 3	156
Tabla 4-13 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 3	157
Tabla 4-14 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 3	157
Tabla 4-15 Ajustes de la prueba 4	157
Tabla 4-16 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 4	157
Tabla 4-17 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 4	158
Tabla 4-18 Observaciones de la prueba de velocidad.....	159
Tabla 4-19 Ajustes de la prueba 5	159
Tabla 4-20 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 5	159
Tabla 4-21 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 5	159
Tabla 4-22 Ajustes de la prueba 6	160
Tabla 4-23 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 6	160

Tabla 4-24 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 6	160
Tabla 4-25 Ajustes del modelo funcional para la prueba de transfer.....	162
Tabla 4-26 Características de la matriz.....	162
Tabla 4-27 Ejemplo de una impresión de buena calidad contra una de mala calidad del experimento 1	164
Tabla 4-28 Ejemplo de impresión piloto para el experimento 2.....	165
Tabla 4-29 Ejemplo de recopilación de información en el modo de color RGB ...	167
Tabla 4-30 Ejemplo de hoja de recopilación de datos.....	169
Tabla 4-31 Ejemplo de selección de dos grabados para el experimento 3.....	169
Tabla 4-32 Ejemplo de impresión piloto para el grabado 1 del experimento 3	170
Tabla 4-33 Ejemplo de impresión piloto para el grabado 2 del experimento 3	170
Tabla 4-34 Ejemplo de selección de dos grabados para el experimento 4.....	171
Tabla 4-35 Ejemplo de comparación de calidad de las impresiones para el experimento 4.....	171
Tabla 4-36 Datos de la matriz del primer grabado	171
Tabla 4-37 Resultados del experimento 1	173
Tabla 4-38 Impresión piloto para el experimento 2.....	174
Tabla 4-39 Resultados del experimento 2.....	175
Tabla 4-40 Impresión piloto para el grabado del experimento 3.....	177
Tabla 4-41 Impresión del tiraje de un segundo grabado para el experimento 3 ..	178
Tabla 4-42 Impresión de un segundo tiraje del primer grabado para el experimento 3	179
Tabla 4-43 Comparación de la configuración de la máquina para diferentes grabados.....	181

RESUMEN

El proyecto del diseño de una máquina para la impresión de estampas de matrices en relieve, en hueco y en plano dirigido a la gráfica, inició al identificar las diferentes problemáticas que tenían los alumnos y docentes del taller de grabado de la Facultad de artes y diseño de la UNAM al momento de realizar su proceso artístico.

Se observó principalmente que las máquinas utilizadas requieren de mucho esfuerzo humano, son imprecisas y el artista invierte demasiado tiempo en el proceso de impresión. Por lo que se propuso diseñar y fabricar una máquina que mejore y optimice el proceso de impresión de los talleres de grabado y al mismo tiempo satisfacer las necesidades del artista en su proceso creativo.

Para este proyecto se trabajó colaborativamente con artistas visuales especializados en técnicas de grabado que ocuparon el rol de usuario, en varias etapas de diseño se consultó con estos especialistas para llegar a los resultados que mejor satisficieron sus necesidades. Sin embargo, uno de los principales retos fue llegar a acuerdos con estos especialistas ya que su proceso creativo es considerado un trabajo artístico-artesanal y el proceso de diseño debía evitar romper con el carácter artesanal.

Durante el proceso de diseño se utilizaron varias metodologías, principalmente diseño centrado en el usuario, y se realizaron las siguientes etapas: búsqueda de información, definición de requerimientos y especificaciones, diseño conceptual, diseño a detalle y fabricación de un modelo funcional.

El modelo funcional fue fabricado con base en las propuestas de ingeniería definidas en la etapa de diseño a detalle para comprobar que la máquina satisface las necesidades artísticas de los usuarios. Además de realizar pruebas funcionales, se aplicó una encuesta a la comunidad de artes con conocimiento en técnicas de grabado para conocer su opinión del resultado de este proyecto.

Para finalizar, se concluye sobre un resultado satisfactorio del proceso de diseño y la obtención de un producto que satisface las necesidades artísticas de la mayoría de los artistas visuales, con excepción de aquellos que gustan de un proceso artístico completamente tradicional y sin el uso de nuevas tecnologías.

INTRODUCCIÓN

Justificación del proyecto

La propuesta de esta tesis de maestría viene determinada por la necesidad de modernizar y mejorar las máquinas utilizadas en los talleres de grabado para el proceso de impresión de estampas artísticas. Las máquinas usadas en la actualidad han sido catalogadas por los usuarios principalmente como "arcaicas" y difíciles de obtener; esta es la razón fundamental para iniciar el proceso de diseño de una máquina que se adapte a las necesidades de los grabadores modernos en México.

En las escuelas de arte en México es común que se enseñen las técnicas de grabado, sin embargo, la mayoría de los estudiantes al egresar no tienen un fácil acceso a una máquina de impresión de estampas que se asemeje a las que utilizan durante sus estudios. Esto provoca que los alumnos se desmotiven y no utilicen técnicas de grabado como medio de expresión para sus futuros trabajos artísticos. Por esta razón, el proceso de diseño realizado en el presente trabajo tiene como uno de sus principales objetivos, fabricar una máquina accesible y de fácil instalación que impida el desuso de las técnicas de grabado y además permitir a los grabadores establecer su propio taller con la menor inversión de recursos.

Asimismo, se pretenden relacionar los procedimientos tradicionales de grabado con diseño de ingeniería y de esta forma mejorar y optimizar el proceso de impresión de estampas artísticas.

Alcance del proyecto

Diseñar una máquina para la impresión de trabajos artísticos realizados con la técnica del grabado en relieve de grandes dimensiones siguiendo las etapas de diseño que son:

- Búsqueda de información.
- Definición de requerimientos y especificaciones.
- Diseño conceptual.
- Diseño de detalle.
- Fabricación de un prototipo para pruebas funcionales.

Integrar la experiencia y conocimiento de artistas visuales, especializados en técnicas de grabado, al proceso de diseño de ingeniería para obtener como resultado un producto innovador y, de esta forma, conjuntar dos áreas de conocimiento opuestas. Además, romper el paradigma de que el uso de nuevas tecnologías elimina la esencia artístico-artesanal de los grabados artísticos.

Descripción del proyecto

Para una mejor comprensión del proceso de diseño, la presente tesis se divide en cuatro capítulos.

Capítulo 1 Búsqueda de información.

En esta primera parte del trabajo se recopiló la información necesaria para entender lo que es el proceso de grabado y la estampa como resultado de la expresión artística. Se incluye la clasificación del grabado y la descripción de las distintas técnicas usadas en este proceso artístico. Como parte indispensable se investigaron los distintos tipos de máquinas y formas para realizar el proceso de estampado, además, se identificaron diferentes máquinas comerciales como punto de partida del proceso de diseño.

Capítulo 2 Diseño conceptual

Una vez completada la investigación del capítulo 1, se prosiguió a realizar la etapa de diseño conceptual. Para el desarrollo de esta etapa se estuvo trabajando en conjunto con el usuario final. Se definieron los requerimientos y especificaciones del diseño, se elaboró un diagrama de caja negra y un diagrama funcional con el que se establecieron los diferentes sistemas que componen la máquina. Junto con el usuario y al analizar las máquinas comerciales, se propusieron diferentes alternativas de solución para cada sistema; por medio de una matriz morfológica se realizaron dos propuestas de configuración. Se tomó de base la segunda propuesta de configuración y se utilizó el método de la matriz de contradicciones de TRIZ para proponer soluciones innovadoras para cada uno de los sistemas; se realizó un proceso de selección utilizando el método de factor de peso y la matriz de decisión y así se definió una tercera propuesta de configuración.

Capítulo 3 Diseño de detalle

Con el diseño conceptual terminado y al tener como resultado un boceto del diseño final de la máquina se prosiguió a realizar la etapa de diseño a detalle. En esta etapa se detallaron los componentes principales de la máquina, estos son: los rodillos con los cuales se ejerce la presión para realizar una impresión artística, los componentes del sistema de control, el soporte donde se colocan los grabados para realizar el procedimiento de impresión y el volante o motor con el que se puede accionar la máquina. Se establecieron dimensiones, se seleccionaron materiales y se escogieron piezas comerciales para cada uno de estos elementos.

Para finalizar el capítulo se elaboró un modelo CAD y se dibujaron los planos de fabricación de la máquina.

Capítulo 4 Modelo funcional y pruebas de impresión

En este capítulo se presenta un modelo funcional fabricado aproximadamente diez veces más chico que las dimensiones establecidas en la etapa de diseño a detalle. Cabe señalar que, aunque el modelo funcional se presenta en el último capítulo, mediante su fabricación y las pruebas realizadas se obtuvo una realimentación que permitió mejorar el diseño de detalle de la máquina.

Con el modelo funcional se comprobó que el diseño de máquina definido en el capítulo 3 permite la correcta realización de estampas con la técnica de grabado en relieve. Se realizaron diferentes pruebas de impresión y se optimizaron diferentes áreas del proceso artístico, estas se describen en las conclusiones del trabajo.

Se realizó una encuesta a la comunidad de la facultad de artes y diseño de la UNAM, para conocer la opinión de las personas especializadas en técnicas de grabado, tanto alumnos, egresados, profesionales y docentes, sobre el modo de operación del modelo funcional y las propuestas de diseño utilizadas para su fabricación.

CAPÍTULO 1

BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

El grabado es un proceso artístico que se realiza con múltiples técnicas y herramientas haciéndolo un procedimiento sumamente complejo y difícil de entender si no se visualiza desde la perspectiva correcta. Por lo que este capítulo está dedicado a recopilar y sintetizar la información de los conceptos generales requeridos para entender el proceso de grabado.

El proceso de grabado va de la mano con el proceso de estampado por lo que la información de ambos procedimientos se encuentra presentes en este capítulo. La información que contiene el presente es: la definición de los conceptos de grabado y estampa desde el punto de vista artístico, la clasificación de las matrices de grabado, las máquinas con las que se realiza el proceso estampado.

Se finaliza el capítulo con la sección del estado del arte que contiene la información de distintos modelos comerciales del tórculo, este es el tipo de máquina más usada en los talleres de grabado, como punto de partida para el capítulo 2: Diseño Conceptual.

1.1. El grabado y la estampa

1.1.1. Definición del grabado

En esta sección se presentan dos definiciones del termino de grabado o grabar usadas en el ámbito artístico.

El término grabado significa dibujar o realizar una imagen en una superficie por medio de alteraciones al material con algún procedimiento. Cuando se habla del grabado se refiere a cavar, surcar, abrir, herir, rayar, morder, incidir, atacar, etc., estos términos son adoptados en el argot de los talleres de grabado para referirse al procedimiento de grabado de una matriz (Catafal & Olivia, 2009).

Grabar es crear una imagen mediante incisiones producidas por distintas herramientas o medios en un soporte que lo permita, hasta construir una matriz apta para su posterior reproducción múltiple. Por lo tanto, el grabado seria todo aquel material incidido o tallado que se pueda entintar y que admita trasladar la imagen creada al papel, mediante su impresión o estampado un determinado número de veces. (Catafal & Olivia, 2009)

1.1.2. La estampa

Una vez elaborada una matriz o grabado se prosigue a realizar el proceso de estampado. La estampa es la imagen obtenida de trapazar la matriz al papel, a través de la tinta y de la prensa. Es el resultado final, objeto y culminación del proceso de elaboración de un grabado. (Catafal & Olivia, 2009). La estampa como resultado final es conocida como la obra gráfica.

La obra gráfica es el conjunto de estampas generadas mediante una matriz elaborada con alguna de las técnicas gráficas, y estampadas por medio de uno de los múltiples sistemas de impresión. (Catafal & Olivia, 2009).

1.1.3. Clasificación del grabado

Es bastante complejo clasificar todas las técnicas y procedimientos de grabado empleados en la elaboración de las estampas. Por ello su clasificación se realiza atendiendo a criterios distintos: Según el material de la matriz, según el modo de elaboración de la matriz y según el modo en que se realiza el estampado. Esta última es la más clara y la más usada; y está basada en el lugar que ocupa la tinta en el momento de proceder al estampado.

Con base en el lugar en el que se coloca la tinta sobre el grabado se puede clasificar en cuatro técnicas: grabado en relieve, grabado en hueco, técnica en plano y técnica de tamiz como se observa en la Figura 1-1. La descripción de cada técnica se presenta en la sección 1.2.

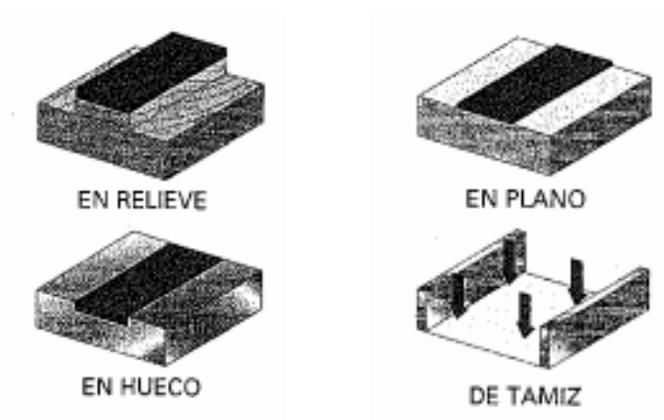


Figura 1-1.- Clasificación de la gráfica con base en donde se deposita la tinta (Catafal,2009)

1.2. Técnicas de grabado

En esta sección se presenta la descripción de cada una de las técnicas de grabado clasificadas por la zona donde la tinta es almacenada. No se profundiza

en el grabado de tamiz ya que la máquina diseñada no realiza este tipo de impresión.

1.2.1. Grabado en relieve

El grabado en relieve consiste en realizar una incisión o excavación sobre una matriz hecha de madera, linóleo o cuero. Al entintar la matriz la tinta queda almacenada en el nivel superior de la matriz, es decir, la tinta no se almacena en los surcos creados como se muestra en la Figura 1-2



Figura 1-2 Ejemplo de Xilografía (SlideShare,2018)

A continuación, se describen las técnicas que se encuentran clasificadas dentro del grabado en relieve.

Grabado a fibra

Xilografía a fibra o al hilo es la técnica más antigua utilizada desde la invención de la imprenta. Consiste en realizar corte en el mismo sentido del eje de la fibra.

Tuvo su gran importancia en la transmisión gráfica de la cultura, aunque eclipsada posteriormente por otras técnicas que permiten una mayor calidad de línea, el grabado a fibra continúa siendo la técnica más usada por su gran capacidad expresiva y facilidad de trabajo.

Grabado a contrafibra

Xilografía a contrafibra, a contrahilo o grabado al boj, se diferencia de la xilografía a fibra ya que emplea planchas cortadas transversalmente de la madera de boj¹. Surge a finales del siglo XVIII por Thomas Bewick y se caracteriza por un trabajo delicado y fino que utiliza como herramienta principal el buril (generalmente se emplea para el grabado en metal) lo anterior se debe a la dureza de la madera. Se trabaja en relieve múltiple escalonado, similar a las cinceladas que realiza un escultor en la madera.

Camafeo

El camafeo es una xilografía que permite obtener estampas con distintas tonalidades de color mediante el uso de dos o más planchas.

Gofrado

El Gofrado es definido por Riat M. como una deformación permanente en la superficie del papel. Esta deformación a veces se exagera artificialmente y en casos es la finalidad en los que se renuncia al uso de la tinta, limitándose únicamente a producir relieves sobre la superficie del papel.

1.2.2. Grabado en hueco

El objetivo del grabado en hueco principalmente llamado grabado calcográfico consiste en realizar incisiones o surcos en el material de la matriz donde la tinta será almacenada como se muestra en la Figura 1-3. Esta técnica se usa principalmente para tener un terminado con línea fina, como si la impresión estuviera hecha a lápiz.

También conocido como rotograbado, es una técnica en la cual la impresión es realizada por medio de la transferencia al papel de la tinta contenida en los orificios colocados en superficie plana de la plancha. Esta técnica se utiliza en la producción de empaques, así como en la creación de tirajes en el ámbito editorial.

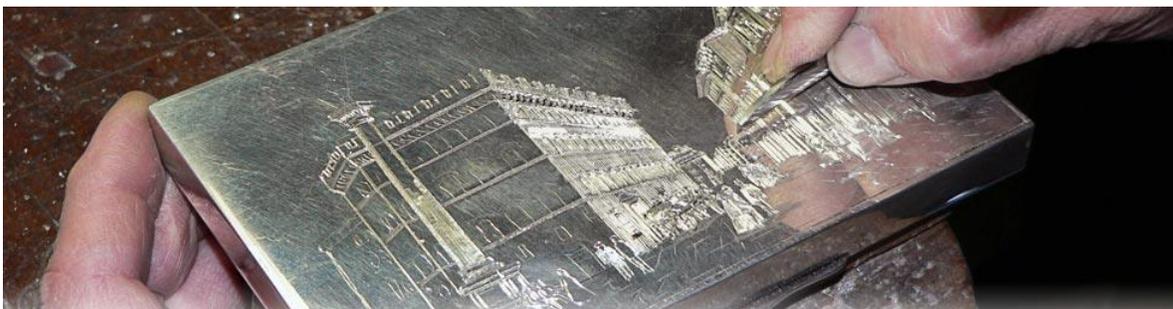


Figura 1-3 Ejemplo de grabado con punta seca (Totenart, 2018)

El grabado en hueco usa matrices metálicas que pueden ser de aluminio, zinc, cobre, hierro y acero, aunque estos dos últimos están cada vez más en desuso

¹ Madera de boj dispone de poca porosidad, gran densidad y dureza lo que permite trabajos de extrema precisión.

sustituyéndose por láminas de aluminio o con el uso del grabado verde que usa envases de tetra pack reciclados. Se utilizan planchas de uno a dos milímetros de espesor.

Las mejores planchas para grabado son de cobre batido que debido a su suavidad es posible rayarlo y cortarlos con facilidad, sin embargo, debido a la misma suavidad las planchas de este material se desgastan con mayor rapidez, sobre todo en la impresión de ediciones largas.

Existen diversas formas de realizar los surcos o huecos desde rayar la matriz con una punta de acero, técnica llamada punta seca, como se muestra en la Figura 1-3 hasta el uso de ácidos conocido como la técnica de aguafuerte, con la que se ataca o muerde la placa en zonas específicas.

De entre las técnicas más nuevas se encuentra el grabado verde, ya mencionado, que utiliza envases de tetra pack y punta seca como se muestra en la Figura 1-4. Y la técnica de grabado electrofítico, que consiste en atacar una placa de aluminio sometida a un proceso de electrolisis.



Figura 1-4 Ejemplo de grabado verde (Taller Eco-Grabado,2018)

Con el término de calcografía se denomina a los grabados realizados en cobre y por extensión cualquier soporte metálico que utilice cualquiera de las técnicas directas o indirectas del grabado en hueco. Designa también a las colecciones de planchas y estampas (Catafal & Olivia, 2009).

La desventaja más importante de esta técnica se encuentra que al ser un proceso costoso en cuanto a materiales y maquinaria, no es rentable ante la impresión de tirajes cortos o de un número específico de reproducciones. Además, las tintas basadas en disolventes que se utilizan en el huecograbado tienen componentes

contaminantes más agresivos, en comparación con otras tintas empleadas en otros tipos de impresión.

1.2.3. Grabado en plano

Como su nombre lo indica el grabado en el plano consiste en que la tinta se deposita al mismo nivel que la plancha, es decir no se realizan surcos o incisiones. Principalmente se usan matrices de piedra litográfica o matrices metálicas.

Las piedras litográficas son piedras calizas, carbonato de calcio. Las piedras varían según el tamaño de grano, que puede ser desde muy fino, con el poro cerrado que permiten estampas muy precisas y detalladas; hasta de grano muy grande, más suaves y porosas, que aguantan ediciones de estampas más cortas y son solamente útiles cuando se usan técnicas aguadas o se buscan planos de color y texturas. Para ser manejables no deben de tener más de 10 cm de grueso.

El grabado en piedra litográfica consiste en realizar el trazo o dibujo directamente sobre la piedra con tintas grasas, se prepara una mezcla de agua, goma arábiga y ácido que se distribuye por toda la piedra. La mezcla únicamente se fijará en las zonas grasas que rechazan el agua. Finalmente se limpia la piedra con disolvente y se obtiene la imagen primitiva, es recomendable fijar aún más la imagen con tintas ricas en grasa como el betún.

Sobre la superficie plana de la piedra, la tinta solo se fijará en las zonas grasas previamente tratadas como se muestra en la Figura 1-5.



Figura 1-5 Ejemplo de litografía (Praefcke, 2018)

1.2.4. Grabado de tamiz

El procedimiento conocido como grabado de tamiz es la serigrafía. Esta técnica consiste en utilizar una malla por donde pasará la tinta, el paso de la tinta se bloquea en las zonas donde no se quiere imagen. UN ejemplo de matriz serigrafía se presenta en la Figura 1-6.



Figura 1-6 Ejemplo de serigrafía (Doble Vela®, 2018)

1.3. Tipos de prensas

En esta sección se describen las diferentes máquinas y formas de realizar el proceso de estampado para las técnicas de grabado en relieve, en hueco y en el plano. De entre los procesos y máquinas se encuentran el estampado manual, la prensa hidráulica, la prensa litográfica y el tórculo. El principio del estampado es ejercer presión sobre el grabado entintado para transferir la imagen al papel por lo que las máquinas presentadas en esta sección se basan en este principio.

1.3.1. Estampado manual

El estampado manual es el proceso esencial de creación de grabado en relieve, consiste en ejercer presión uniformemente sobre el grabado y el papel directamente con la mano y utilizando una herramienta de apoyo como se muestra en la Figura 1-7. La principal herramienta del estampado manual es el barem tradicional japonés, la Figura 1-7 presenta una versión más moderna de este, aunque también suelen utilizarse otros elementos como cucharas y rodillos.



Figura 1-7 Ejemplo de estampado manual (Vostok Printing Shop®, 2018)

1.3.2. Prensa Vertical

Como su nombre lo menciona, la prensa vertical es una maquinaria que está constituida por dos placas planas de gran peso situadas paralelamente una encima de otra. La placa superior desciende o asciende para dar o disminuir la presión para lograr girar un gran torillo que se ubica en la parte superior de las dos placas, con la ayuda de un volante. La desventaja de esta prensa es que únicamente permite impresiones de grabados en relieve y de pequeño formato.

Existen dos tipos de prensas verticales de acuerdo al modo en que se ejerce la presión: Manual e hidráulica. En el caso de la prensa manual, mostrada en la Figura 1-8, la presión se genera manualmente, se utiliza un volante que hace descender un émbolo sobre el grabado a estampar.



Figura 1-8.- Prensa vertical manual (Todoart, 2016)

En el caso de la prensa hidráulica, mostrada en la Figura 1-9, funciona mediante un mecanismo de presión por aire, donde una palanca se activa manualmente para comprimir aire, lo que permitirá que un émbolo baje. Tiene la ventaja de que este tipo de prensa tiene un dispositivo que indica la presión ejercida además de que su ascenso es más fácil, únicamente se afloja una tuerca que provoca la pérdida de presión haciendo que el aire se expanda de nuevo y el émbolo suba.



Figura 1-9.- Prensa vertical hidráulica (Arteina, 206)

1.3.3. Prensa de arrastre o litográfica

La prensa litográfica, mostrada en la Figura 1-10, está construida a partir de perfiles de acero, con un robusto bastidor equipado con estanterías de almacenamiento de piedras, el bloqueo y los tornillos de nivelación en cada pata

La parte superior de la maquina tiene canjeables travesaños de madera. El sistema está montado en el travesaño con resortes ocultos en el marco de la litografía. La presión se aplica a través de un mecanismo de excéntrico montado en el centro de la parte superior del marco. La presión de la cuchilla se queda fija, pero se puede elevar con un sistema de palanca. La platina de acero es de 3 mm de espesor y cuenta con el equipo para los topes de seguridad.



Figura 1-10.- Prensa litográfica (Todoart,2016)

1.3.4. Tórculo

El tórculo es una prensa específica para estampar las planchas de grabado calcográfico, aunque en la actualidad también se usa para estampar las matrices de grabado en relieve. Consta de dos cilindros, uno superior y otro inferior, entre los cuales realiza su paso una platina sobre la cual la plancha entintada y el papel reciben la presión. Un volante o una manivela son los encargados de accionar la prensa. Como el mostrado en la Figura 1-11 (Catafal & Olivia, 2009). Actualmente, la prensa también puede ser accionada por medio de un motor eléctrico.



Figura 1-11.- Tórculo en un taller (Targowisko, 2016)

La maquinaria tiene gran resistencia ante el desgaste, aun con la producción de impresiones detalladas con un alto nivel de precisión, así como lograr colores brillantes en materiales delicados sin dejar de lado la alta velocidad en el proceso

de trabajo. Algunos de los tórculos más grandes deben de ser capaces de soportar una presión máxima de 5,000 kgf/cm² (Garrido, 2014).

1.4.Máquinas comerciales

En esta sección se presentan los modelos comerciales de tórculo encontradas en el mercado internacional y nacional. Estos se usan como referencia para establecer los requerimientos y especificaciones del diseño de la máquina.

La investigación se enfocó en modelos de tórculo únicamente, por ser la prensa que permite realizar estampas con el mayor número de técnicas de grabado, además de permitir la impresión de trabajos de grandes dimensiones y estar dirigida a la impresión de ediciones con un gran número de copias. En una reunión preliminar con los usuarios se definió que las caracterizas mencionadas son de suma importancia para el artista y por esto se considera el tórculo como una herramienta esencial de un taller de grabado.

1.4.1.Tórculos en el mercado internacional

En esta sección se presentan dos modelos de tórculo encontrados en el mercado internacional. El usuario definió que las principales características que un artista busca al adquirir una de estas máquinas son el tamaño de la platina, el precio y el peso. De los criterios mencionados el principal es el tamaño de platina por lo que se buscaron los modelos más grandes en el mercado.

Los tórculos de esta sección son modelos fabricados por la empresa española Ribes. Se presenta el modelo manual TC800 en la Figura 1-12 y sus especificaciones en la Tabla 1-1, en el cual la platina es guiada por 6 rodamientos.

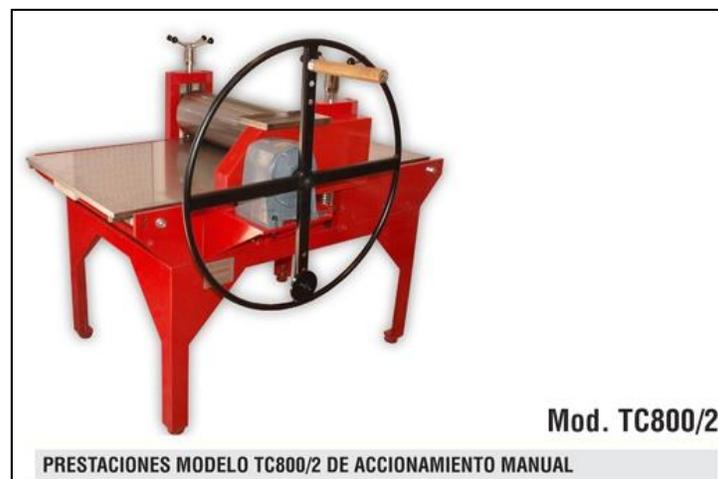


Figura 1-12.- Tórculo Ribes Modelo TC800/2 (Tórculos Ribes, 2016)

Especificaciones tórculo modelo TC800/2

Precio	12,420.00 €
Dimensiones de platina	800 x 1500 mm
Tamaño de grabado máximo	710 x 1350 mm
Acondicionamiento	Manual mediante volante
Tracción	Rodillo superior
Reducción	1:28
Espesor platina de acero	18 mm
Diámetro rodillo superior	215 mm
Diámetro rodillo inferior	215 mm
Altura máxima entre rodillo – platina	52 mm
Paralelismo entre rodillos	0.02 mm
Control de presión	Husillo M28 paso fino
Altura de platina al suelo	850 mm
Dimensiones máximas exteriores	1300 x 1500 mm
Peso total	575 kg.

Tabla 1-1.- Tabla de las especificaciones comerciales del tórculo Ribs Mod. TC800/2

El segundo modelo presentado en la Figura 1-13 es el tórculo eléctrico GF1350, sus características se presentan en la Tabla 1-2 y las características de su sistema eléctrico se presentan en la Tabla 1-3.



Figura 1-13.- Tórculo Ribs eléctrico Mod. GF1350 (Tórculos Ribes, 2016)

Especificaciones tórculo modelo GF1350	
Precio	24,863.00 €
Dimensiones de platina	1350 x 2600 mm
Grabado máximo	1260 x 2450 mm
Acondicionamiento	Eléctrico
Tracción	Rodillo superior
Reducción	1:28
Espesor platina de acero	20 mm
Diámetro rodillo superior	215 mm

Diámetro rodillo inferior	215 mm
Altura máxima entre rodillo – platina	52 mm
Paralelismo entre rodillos	0.02 mm
Control de presión	Husillo M28 paso fino
Altura de platina al suelo	850 mm
Dimensiones máximas exteriores	1800 x 2600 mm
Peso total	1220 kg.

Tabla 1-2.- Tabla de las especificaciones comerciales del tórculo Ribs eléctrico Mod. GF1350

Especificaciones del sistema eléctrico del tórculo GF1350	
Velocidad de avance de la platina	2.02 m/min
Velocidad de giro de rodillo	3.0 rpm
Tracción	Eléctrica con moto reductor de dos etapas
Potencia	0.5 kW
Armario eléctrico	230 V / 380 V
Seguridad	4 paros de emergencia – 2 finales de carrera. Protección anti-atrapamiento en rodillo. Armario de maniobra 24 V según normativa

Tabla 1-3.- Tabla con las especificaciones del sistema eléctrico del tórculo Ribs Eléctrico

1.4.2. Tórculos en el mercado nacional

En esta sección se presenta la información del tamaño de platina y precio de los modelos de tórculo encontrados en el mercado nacional, mostrados en la Tabla 1-4. Con esta información se compararon los precios y dimensiones y se establecieron, junto con la opinión del usuario, las especificaciones del tamaño de platina y precios; esta información se presenta en el capítulo 2.

Producto	Dimensiones de la platina	Precio
<p>Tórculo</p> 	90 x 130 [cm]	\$23,800.00
Tórculo de gran formato	142 x 205 [cm]	\$45,000.00

			
<p>Tórculo económico 1</p> 		<p>45 x 70 [cm]</p>	<p>\$10,800.00</p>
<p>Tórculo económico 2</p> 		<p>70 x 100 [cm]</p>	<p>\$14,600.00</p>
<p>Tórculo Prensa Grabado</p> 		<p>40 x 70 [cm]</p>	<p>\$14,000.00</p>

Tabla 1-4 Tabla de precios de algunos tórculos en el mercado nacional

Además, también se recopiló la información de los modelos de tórculo fabricados por la empresa Aceroarte ubicada en la Ciudad de México, estos se presentan en la Tabla 1-5 con la que se complementó la información recabada en la Tabla 1-4 y se definieron las especificaciones de tamaño de platina y precio con mayor precisión.

Modelo Austero	
	
Dimensiones de platina [cm]	Precio
60 x 90	\$38,950.00
60 x 122	\$42,990.00
70 x 122	\$48,495.00
80 x 122	\$65,990.00
Lujo con Mesa de Madera	
	
Dimensiones de platina [cm]	Precio
70 x 120	\$55,295.00
Capricho Reforzado	
	
Dimensiones de platina [cm]	Precio
70 x 122	\$65,495.00

Tabla 1-5.- Tabla de tórculos de la empresa Aceroarte CDMX (Aceroarte, 2016)

1.4.3. Conclusiones de las máquinas comerciales.

Al comparar la información del estado del arte se observa que ninguno de los modelos presenta la especificación de la carga máxima permisible. Los modelos españoles proporcionan una mayor cantidad de información sobre las características del tórculo a diferencia de los modelos nacionales que solo presentan el tamaño de platina y precio.

Aunque para el maestro grabador el parámetro más importante es las dimensiones de platina, es importante conocer las especificaciones de carga máxima, tamaño máximo de matriz y materiales de las matrices que pueden ingresarse para evitar fallas tanto en la matriz del grabado como en los rodillos del tórculo.

Se observó que en los modelos nacionales existen diferencias de precios muy grandes entre máquinas de tamaños parecidos, como entre el modelo austero 60x90[cm] y el tórculo económico 1. Esto se debe a que los fabricantes no proporcionan la suficiente información sobre sus máquinas.

La falta de especificaciones es uno de los principales problemas para la selección del tórculo adecuado para el taller del grabador.

CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En este apartado se presenta el proceso de diseño conceptual realizado, el cual consistió en la definición de requerimientos y especificaciones establecidos por el usuario, el análisis con el modelo de caja negra y definir las funciones que se deben cumplir para realizar una estampa de calidad con lo que la máquina se dividió en sistemas, la generación y evaluación de alternativas de solución para cada sistema y generando un diseño de configuración conceptual final.

2.1. Requerimientos generales definidos por el usuario

Se definió con el usuario que el principal objetivo es la realización de impresiones artísticas de gran tamaño utilizando la técnica de grabado en relieve. Sin embargo, se definió que la máquina también pueda realizar impresiones con la técnica de grabado en hueco para no limitar la expresión artística. A continuación, se enlistan los requerimientos definidos por el usuario.

- Que sea compacto
- Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación.
- Ligero
- Económico
- Que se pueda desplazar de un lugar a otro
- Que se pueda instalar en cualquier habitación
- Que sea portátil
- Eficiencia en la producción de piezas artísticas
- No perder su carácter artístico – artesanal
- Realizar la impresión con el menor esfuerzo humano posible
- Realizar una producción constante
- Proporcione impresiones de alta calidad
- Que acepte matrices pequeñas
- Que acepte matrices grandes
- Que acepte matrices muy gruesas
- Precisión al colocar el papel
- Colocar el papel sin necesidad de ayuda
- Poder imprimir sin ayuda
- Que la presión se ajuste con precisión
- La operación de ejercer la presión sea automática
- Que se pueda imprimir de forma uniforme

2.1.1. Requerimientos y especificaciones

Con base en el análisis de los elementos comerciales y reuniones con los usuarios se determinaron los requerimientos y especificaciones del producto final. En la Tabla 2-1 se presentan los requerimientos definidos con su respectiva especificación y la importancia de cumplimiento que el usuario le da a cada requerimiento. Se utilizó una escala del 1 al 5 para evaluar la importancia del cumplimiento del requerimiento donde 5 es muy importante y 1 no importante.

Requerimiento	Especificación	Importancia
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Ensamblado sencillo	4
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3
Económico	Precio menor a los \$25,000	2
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5
No perder su carácter artístico – artesanal	Permitir el ingreso de materiales experimentales por el artista	5
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5
Realizar una producción constante	Realizar mínimo 30 impresiones al día	2
Proporcione impresiones de alta calidad	Impresiones que satisfagan las necesidades del artista	4
Tamaño mínimo de tabla para imprimir	20 x 30 [cm]	2
Tamaño máximo de tabla para imprimir	120 x 244 [cm]	3
Máximo grosor de la matriz	20 [cm]	3
Precisión al colocar el papel	Precisión de 1 mm	4

Número de personas indispensables para poder colocar el papel	1 persona	5
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5
Que la presión se ajuste con precisión	Que un ajuste de presión pueda repetirse fácilmente	4
La operación de ejercer la presión sea automática	Movimiento automático	4
Que se pueda imprimir de forma uniforme	Que permita identificar el ajuste óptimo para cada grabado	4

Tabla 2-1.- Tabla de requerimientos y especificaciones

Con las especificaciones definidas se prosiguió a realizar el modelo de caja negra para analizar el problema principal.

2.2. Diagrama de caja negra

Para este proyecto se propone un estado inicial donde entra la matriz entintada, el papel, que es el soporte de la obra artística; una hoja de fieltro, para proteger el papel del contacto directo con los componentes de la máquina y no dañar la calidad de la estampa; y energía. Después de la operación de la máquina de impresiones artísticas se tiene de salida la matriz, la estampa y el fieltro. Este procedimiento se ilustra en el diagrama de caja negra mostrado en la Figura 2-1.

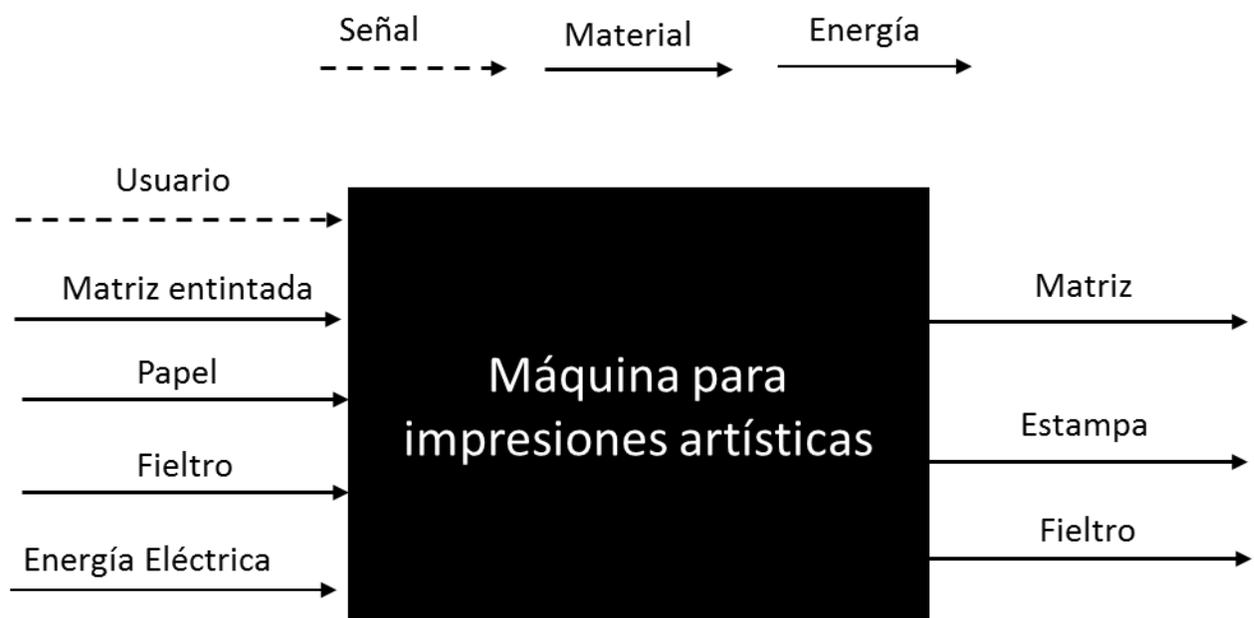


Figura 2-1 Diagrama de caja negra

Con el diagrama de caja negra se definió el diagrama de sistemas separando el diseño de la máquina en sistemas funcionales que deben operar en conjunto.

2.3. Diagrama de sistemas

Con base en las especificaciones y el análisis de sistemas de las soluciones comerciales se proponen los sistemas mostrados en la Tabla 2-2 que conforman la máquina para impresiones artísticas de este proyecto. La Figura 2-2 muestra el diagrama de sistemas, en el que se muestra gráficamente la interacción de los sistemas en conjunto con las entradas y salidas de la caja negra.

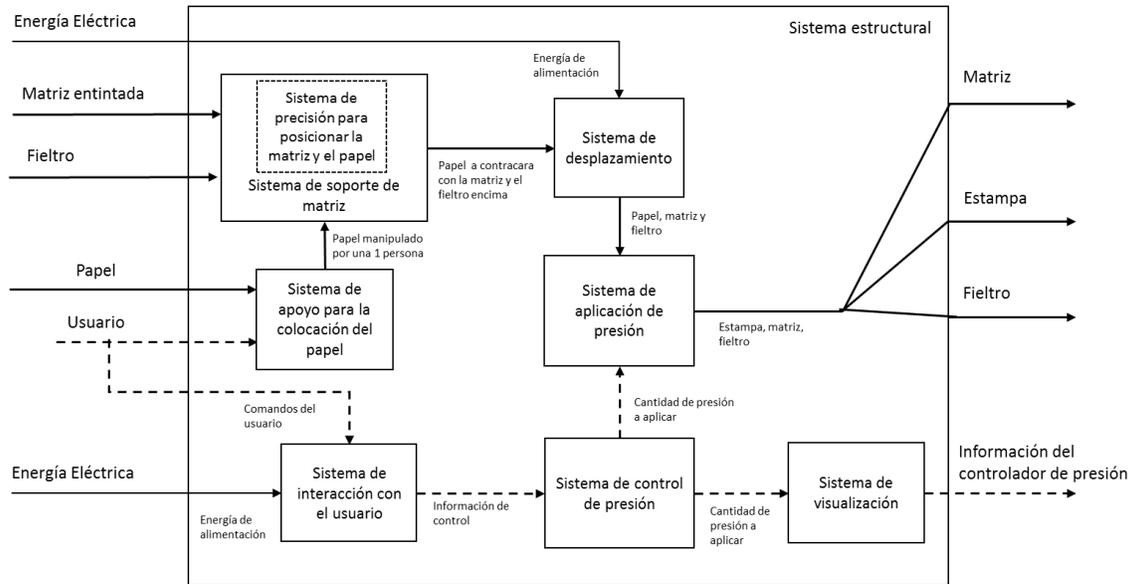


Figura 2-2 Diagrama de sistemas

Nombre	Abreviación	Descripción
Sistema estructural	SE	Es el encargado de dar soporte a la máquina y contener a todos los demás sistemas.
Sistema de soporte de matriz	SSM	Sistema donde se colocará la matriz con el papel para que se aplique la presión de impresión.
Sistema de precisión de colocación de papel y matriz	SPM	Sistema que ayuda al usuario a posicionar de forma precisa el papel y la matriz para el estampado.
Sistema de apoyo para la colocación del papel	SAP	Es el encargado de proporcionar apoyo al usuario para colocar el papel sobre la matriz de forma precisa.
Sistema de interacción con el usuario	SIU	Es el sistema con el que interactuará el usuario para poner la máquina en funcionamiento.
Sistema de desplazamiento	SDA	Encargado de llevar el conjunto de materiales hacia el sistema de presión de forma automática.
Sistema de aplicación de presión	SP	Sistema encargado de aplicar la presión necesaria sobre la matriz con el papel para realizar una impresión de calidad.

Sistema de control de presión	SCP	Sistema encargado de medir y modificar la presión que se aplica a la matriz para que una obra sea repetible.
Sistema de visualización	SV	Sistema que le indica al usuario la lectura tomada del controlador de presión.

Tabla 2-2.- Tabla de sistemas para la máquina de impresiones artísticas

Definidos los sistemas se realizó el procedimiento de proponer y seleccionar alternativas de solución para cada sistema.

2.4. Matriz morfológica

Se elaboró una matriz morfológica que contiene las alternativas de solución para cada uno de los sistemas definidos en el diagrama de sistemas. Para ello primero se analizaron los sistemas que contienen las máquinas comerciales, se identificaron los sistemas en común entre las máquinas comerciales y el diagrama de sistemas por lo que las alternativas de solución usadas por las máquinas comerciales también son aplicables para el diagrama de sistemas.

Se propusieron nuevas alternativas de solución, además de las identificadas en máquinas comerciales, para todos los sistemas del diagrama de sistemas.

2.4.1. Alternativas de solución de máquinas comerciales

Se analizaron 3 máquinas comerciales usadas para la impresión de grabados en relieve, el modelo austero de la empresa Aceroarte CDMX, el modelo de tórculo de gran formato y el modelo de prensa vertical de la Figura 1-8 de la empresa todoart, se identificaron los sistemas que conforman estas máquinas y se definieron las alternativas de solución para cada uno de sus sistemas.

La Figura 2-3 muestra la localización los sistemas que se identificaron en el tórculo modelo austero de la empresa Aceroarte CDMx. Los sistemas identificados se enlistan a continuación:

- SIU Sistema de interfaz con el usuario
- STE Sistema de transferencia de energía
- SE Sistema estructural
- SCP Sistema de control de presión
- SP Sistema de presión
- SSM Sistema de soporte de matrices

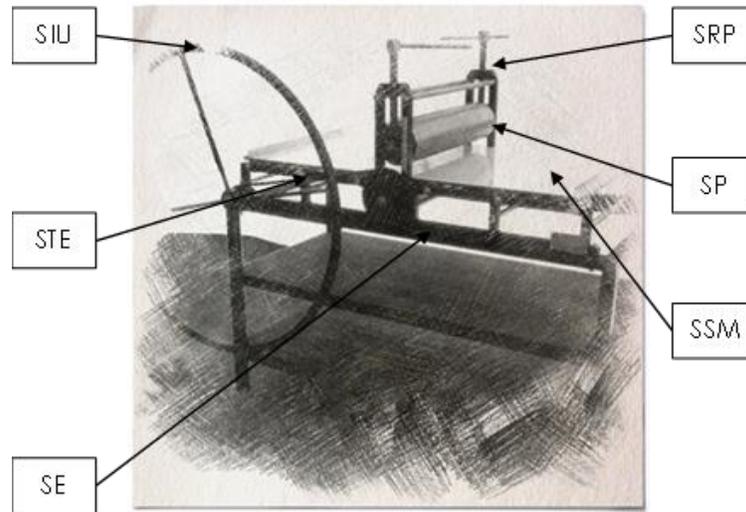
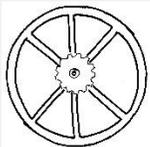
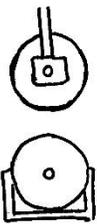
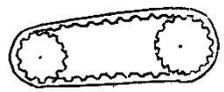


Figura 2-3 Sistemas del tórculo modelo austero de la empresa AceroarteCDMX

Se identificaron las alternativas de solución utilizadas para cada uno de los sistemas mostrados en la Figura 2-3, estos se describen en la Tabla 2-3.

Alternativa de solución	Sistema	Descripción
	SIU	Volante: Se utiliza un volante de grandes dimensiones para que el usuario pueda aplicar un mayor par a la máquina y así desplazar la placa metálica con la alta presión aplicada.
	SP	Rodillos: Para generar la presión se utiliza un concepto de dos rodillos. La distancia entre los rodillos varía y cuando pasa la matriz entre una abertura menor a su espesor se produce una presión sobre ella, mientras los rodillos se cierran más se producirá mayor presión. El rodillo inferior se mantiene fijo mientras el que se desplaza es el superior
	STE	Banda dentada: Para transmitir la energía que el usuario le proporciona a la máquina se utiliza el concepto de la banda dentada, que transfiere la energía del volante al rodillo inferior.
	SE	Mesa de cuatro patas: Para sostener toda la máquina se utiliza una mesa de cuatro patas con refuerzos. Los demás sistemas se montan sobre de este sistema.

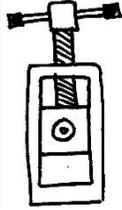
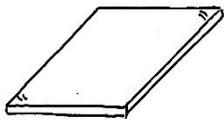
	SRP	<p>Tornillo con paso fino: Para controlar la presión se controla la distancia entre los rodillos con un tornillo de paso fino, el cual en la parte superior tiene una palanca con la que el usuario le da vueltas al tornillo. En la parte inferior se acopla el rodillo superior</p>
	SSM	<p>Platina de acero inoxidable: Las matrices entintadas junto con el papel se colocan sobre esta platina. Estos tres elementos pasan juntos entre los rodillos, es por eso que la platina debe ser de un material resistente a la compresión.</p>

Tabla 2-3.- Tabla de las alternativas de solución para el tórculo

Se seleccionó el tórculo gran formato, mostrado en la Tabla 1-4 y se definieron los sistemas que los componen. Los sistemas definidos se muestran en la Figura 2-4 y estos se enlistan a continuación:.

- SIU Sistema de interfaz con el usuario
- STE Sistema de transferencia de energía
- SE Sistema estructural
- SCP Sistema de control de presión
- SP Sistema de presión
- SSM Sistema de soporte de matrices
- SD Sistema de desplazamiento

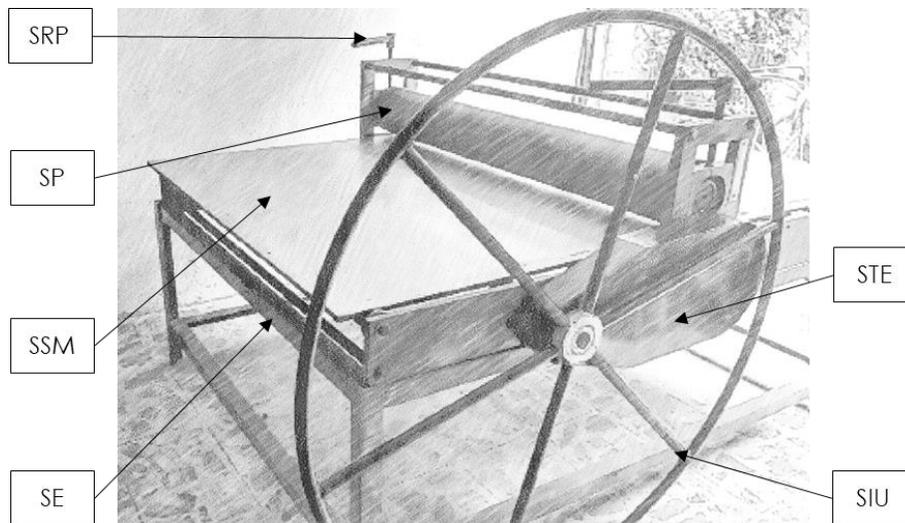


Figura 2-4 sistemas del tórculo de gran formato

Las alternativas de solución que se emplearon en el tórculo de gran formato son las mismas que en el caso anterior, por lo que sus alternativas de solución son las mostradas en la Tabla 2-3.

Los sistemas que posee la prensa vertical manual mostrada en la Figura 1-8 se presentan en la Figura 2-5 y se enlistan a continuación:

- SIU Sistema de interfaz con el usuario
- STE Sistema de transferencia de energía
- SE Sistema estructural
- SP Sistema de presión
- SSM Sistema de soporte de matrices

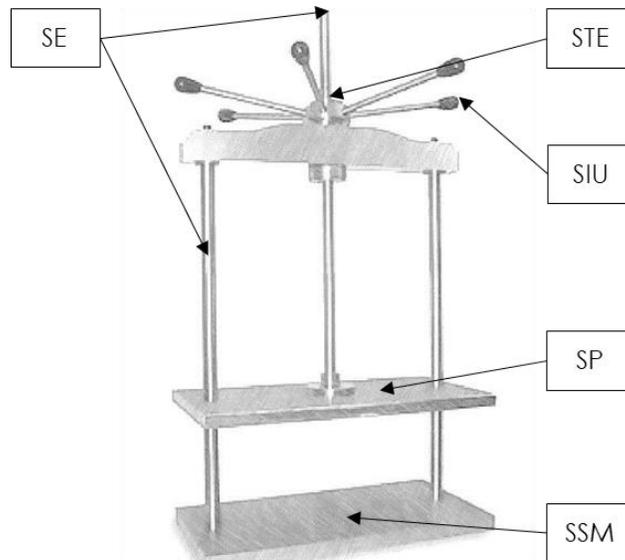
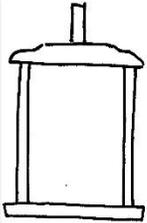
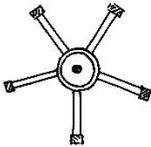
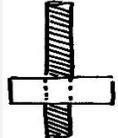


Figura 2-5 sistemas de la prensa manual

Las alternativas de solución para los sistemas identificados en la Figura 2-5 se describen en la Tabla 2-4.

Alternativa de solución	Sistema	Descripción
	SE	Arco: Para el sistema estructural se utiliza el concepto de arco, dos postes se introducen en una base y estos a su vez cargan la parte superior.
	SIU	Timón: El concepto usado para el sistema de interfaz con el usuario es un timón, el cual tiene palancas largas para producir un mayor par y facilitar la rotación.
	STE	Tornillo: La transferencia de energía del usuario a la máquina se realiza mediante un tornillo.

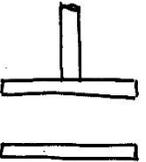
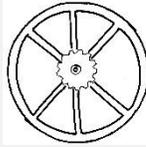
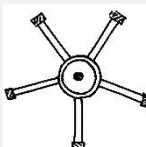
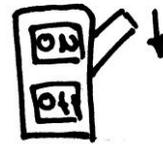
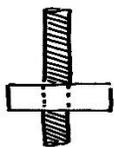
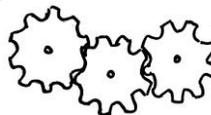
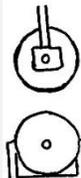
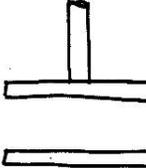
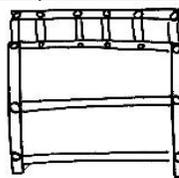
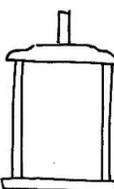
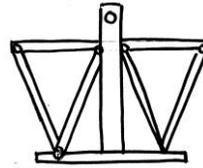
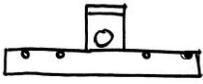
	SP	Placas paralelas: Para ejercer se utiliza el concepto de placas planas paralelas. La impresión se realiza mediante la presión de la matriz con el papel entre estas dos placas. La placa inferior se mantiene fija mientras que la superior se desplaza.
	SSM	Placa metálica: La matriz junto con el papel descansa sobre una placa metálica.

Tabla 2-4.- Tabla de las alternativas de solución para la prensa manual

Se observó que los tórculos comerciales cuentan con los mismos sistemas, pero con diferentes alternativas de solución para cada sistema y que la prensa vertical cuenta con los mismos sistemas que el tórculo a excepción del sistema de control de presión, por lo que todas las alternativas de solución identificadas en las máquinas comerciales que permiten la impresión de grabados en relieve se presentan en la Tabla 2-5.

Alternativas de solución				
Sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sistema de interfaz usuario Manual	 Volante redondo	 Timón	 Interruptor de encendido	
Sistema de transferencia de energía	 Banda dentada	 Tornillo	 Tren de engranes	 Motor
Sistema de presión	 Rodillos paralelos	 Placas paralelas		
Sistema estructural	 Mesa de cuatro patas	 Arco	 Estructura con perfiles	 Estructura solida

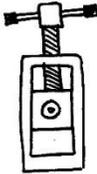
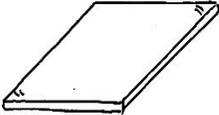
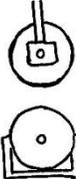
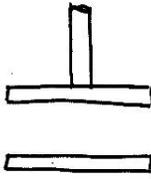
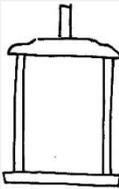
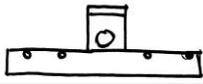
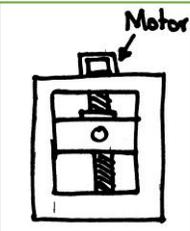
Alternativas de solución				
Sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sistema de control de presión (Solo tórculo)	 Tornillo			
Sistema de soporte de matriz y papel	 Placa solida			

Tabla 2-5 Alternativas de solución de las máquinas comerciales.

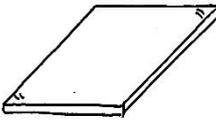
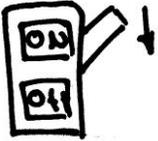
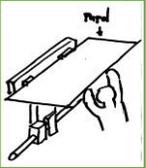
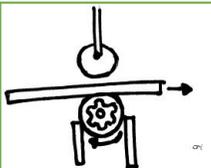
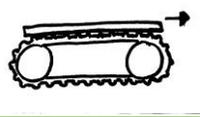
2.4.2. Matriz morfológica

La matriz morfológica construida se presenta en la Tabla 2-6, contiene las alternativas de solución identificadas en las máquinas comerciales y nuevas propuestas de solución para los sistemas de la sección 2.3. Las nuevas propuestas se marcaron con un contorno verde.

Alternativas de solución				
Sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sistema de presión	 Rodillos paralelos	 Placas paralelas		
Sistema estructural	 Mesa de cuatro patas	 Arco	 Estructura con perfiles	 Estructura solida
Sistema de control de presión	 Tornillo	 Motor		

		Tornillo controlado por motor a pasos		
--	--	---------------------------------------	--	--

Tabla 2-6 Matriz Morfológica

Sistema	Alternativas de solución			
	Sistema	Sistema	Sistema	Sistema
Sistema de soporte de matriz y papel	 Placa solida			
Sistema de interfaz usuario control	 Interruptor de encendido	 Volante con manija	 Consola de botones	
Sistema de precisión de colocación de matriz y papel	 Platina cuadriculada			
Sistema de apoyo para la colocación del papel	 Estructura de apoyo que sujeta el papel de un solo lado	 Estructura de apoyo que sujeta el papel por ambos lados		
Sistema de desplazamiento	 Rotación del rodillo inferior	 Controlado por banda dentada	 Tornillo de control por debajo de la platina	 Desplazamiento o neumático.

Sistema de visualización	 Medidor de aguja	 Regla	 Display numérico	
--------------------------	---	--	--	--

Tabla 2-6 Cont. Matriz Morfológica

2.5. Selección de alternativas de solución

2.5.1. Primera selección de alternativas de solución

En una reunión con licenciados en artes visuales se discutieron y seleccionaron las mejores alternativas de solución de la matriz morfológica de la Tabla 2-6. En la Figura 2-6 se presenta un diagrama en el cual se muestran las alternativas de solución seleccionadas de la matriz morfológica para la primera propuesta de configuración.

Sistema	Alternativas de solución			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sistema de presión	 Rodillos paralelos	 Placas paralelas		
Sistema estructural	 Mesa de cuatro patas	 Arco	 Estructura con perfiles	 Estructura solida
Sistema de control de presión	 Tornillo	 Tornillo controlado por motor a pasos		
Sistema de soporte de matriz y papel	 Placa solida			
Sistema de interfaz usuario control	 Interruptor de encendido	 Volante con manija	 Consola de botones	
Sistema de precisión de colocación de matriz y papel	 Platina cuadrada			
Sistema de apoyo para la colocación del papel	 Estructura de apoyo que sujeta el papel de un solo lado	 Estructura de apoyo que sujeta el papel por ambos lados		
Sistema de desplazamiento	 Rotación del rodillo inferior	 Controlado por banda dentada	 Tornillo de control por debajo de la platina	 Desplazamiento o neumático.
Sistema de visualización	 Medidor de aguja	 Regla	 Display numérico	

Figura 2-6 Orden de selección para la primer propuesta de configuración

En la Figura 2-7 se presentan las alternativas de solución seleccionadas sobre el diagrama de sistemas para analizar la funcionalidad y compatibilidad del conjunto.

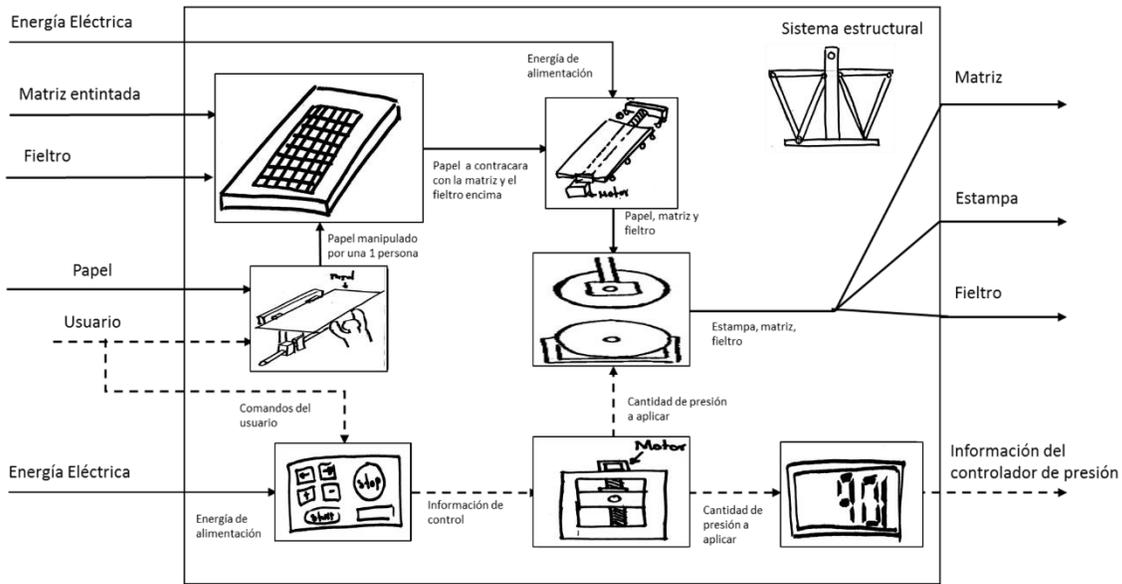


Figura 2-7 Diagrama de sistemas con alternativas de solución

Se observa que el conjunto cumple conceptualmente con las funciones establecidas. Ya seleccionadas las alternativas de solución se prosiguió a realizar una primera propuesta de configuración que se muestra en la Figura 2-8 Primera propuesta de configuración con identificación de alternativas con las alternativas de solución identificadas.

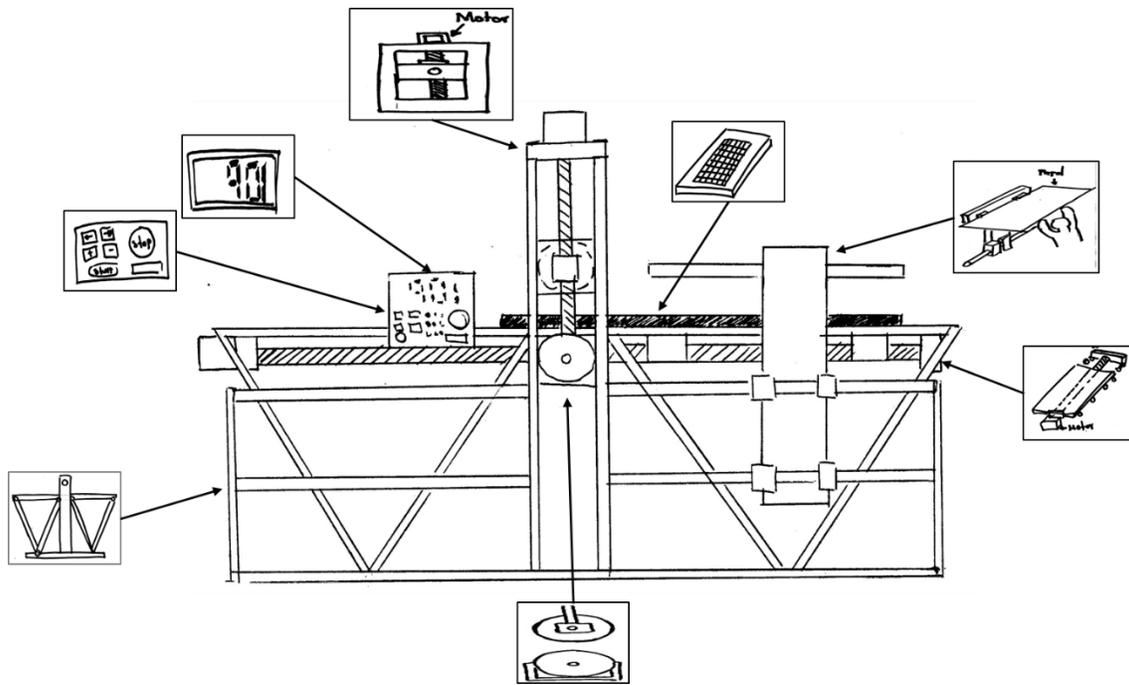


Figura 2-8 Primera propuesta de configuración con identificación de alternativas

En la Figura 2-9 se presenta una perspectiva caballera de la primera propuesta de configuración. Esta permite una mejor identificación de los elementos que componen al conjunto.

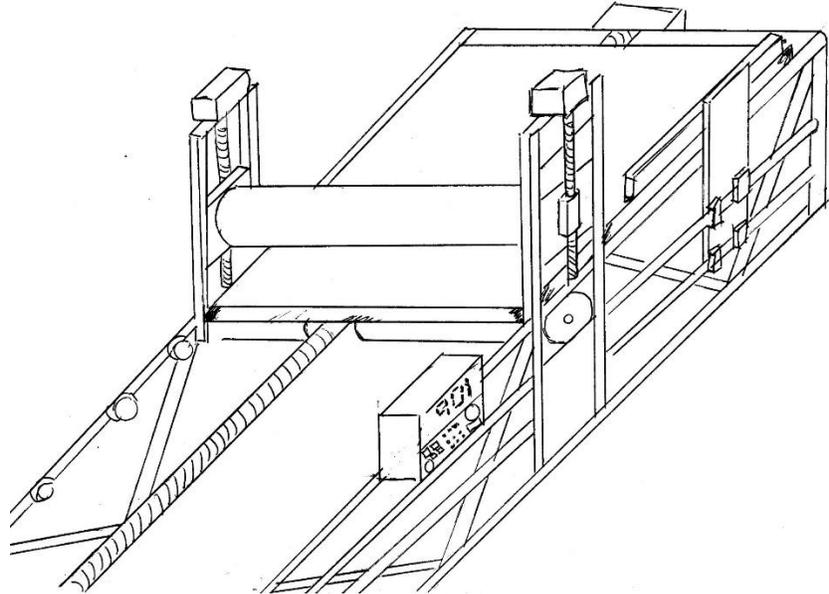


Figura 2-9 Perspectiva caballera de la primer propuesta de configuración

Observaciones y comentarios de la primera propuesta de configuración.

Las zonas identificadas en la Figura 2-10 de la primera propuesta de configuración son donde se realizaron las principales observaciones y comentarios para realizar cambios en el diseño.

Las observaciones fueron las siguientes:

1. Un tornillo intermedio como el que se observa en la Figura 2-10 provoca que el rodillo inferior deba ser seccionado en dos partes, lo cual provoca un mayor número de operaciones de maquinado de un elemento rígido y por lo tanto un mayor costo. Así mismo, las especificaciones que debe cumplir el tornillo se incrementan, por ejemplo, debe ser resistente para no deformarse con el peso del soporte para el papel.
2. El sistema de ayuda para la colocación del papel al ser instalado de un solo lado reduce el costo de fabricación de la máquina, pero deja de ser funcional para tamaños de papel muy grandes. Y lo que se busca es que una sola persona pueda manipular el papel de gran tamaño de forma sencilla y precisa.

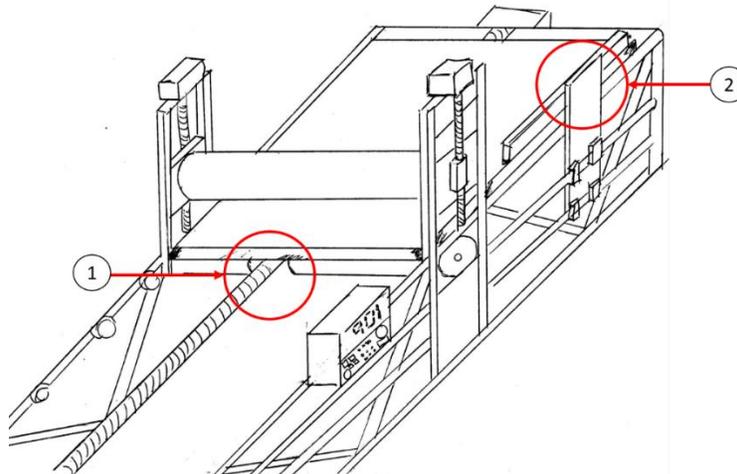


Figura 2-10 Zonas en las que se realizaron observaciones de la primera propuesta de configuración

2.5.2. Segunda selección de alternativas de solución

Con base en las observaciones y comentarios de la primera selección de alternativas de solución se definió una segunda propuesta de configuración. Esta se muestra en la Figura 2-11.

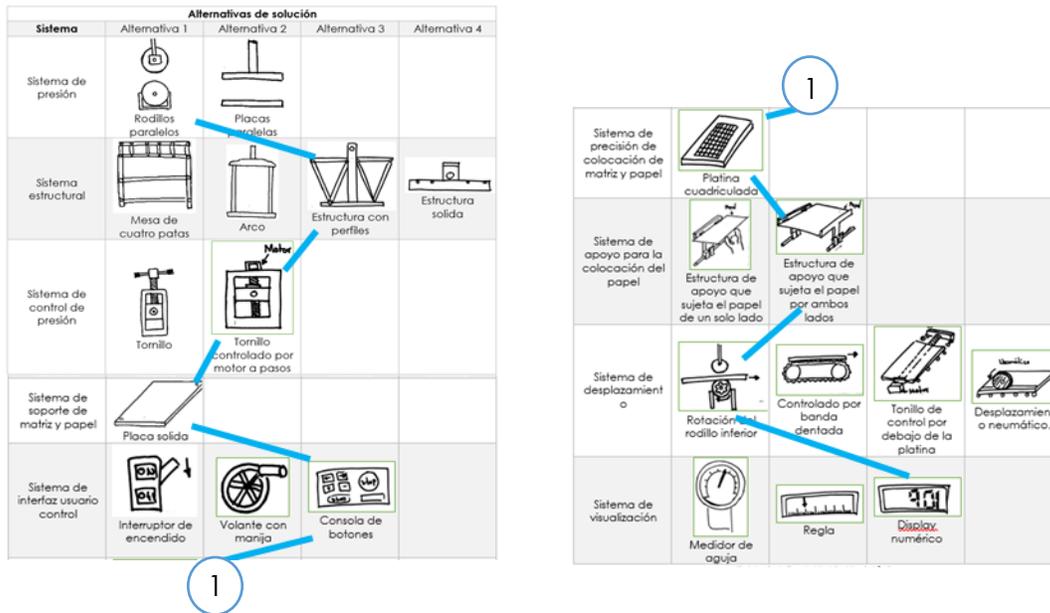


Figura 2-11 Orden de selección para la segunda propuesta de configuración

Con las alternativas de solución seleccionadas se prosiguió a realizar la segunda propuesta de configuración que se muestra en la Figura 2-12.

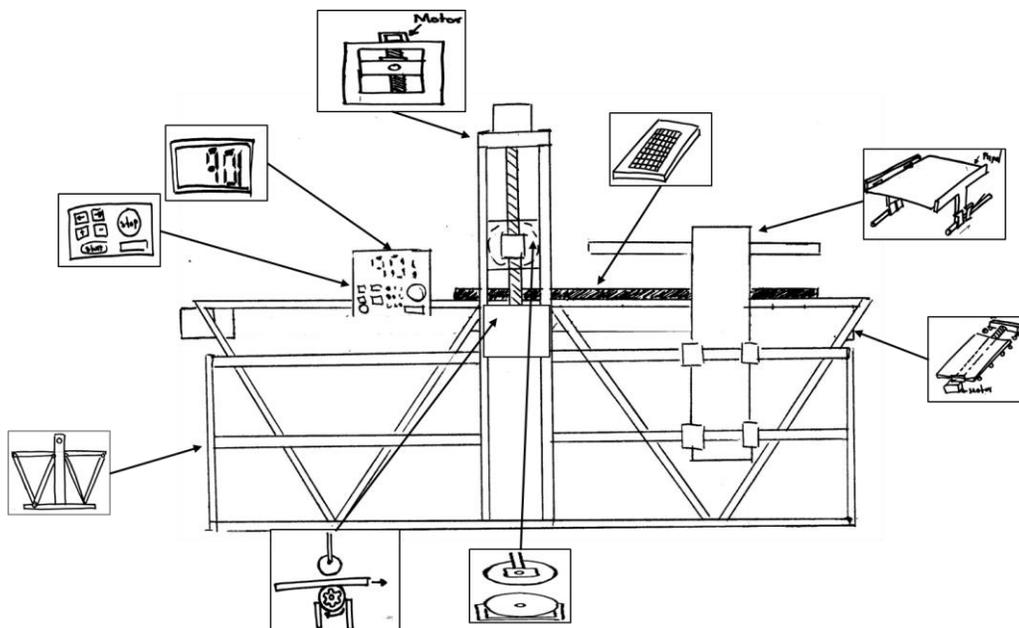


Figura 2-12 Segunda propuesta de configuración con identificación de alternativas.

Se observa que la alternativa de solución del sistema de desplazamiento está en función de la rotación del rodillo inferior, por lo que las propuestas para producir esta rotación se presentan en la Figura 2-13.

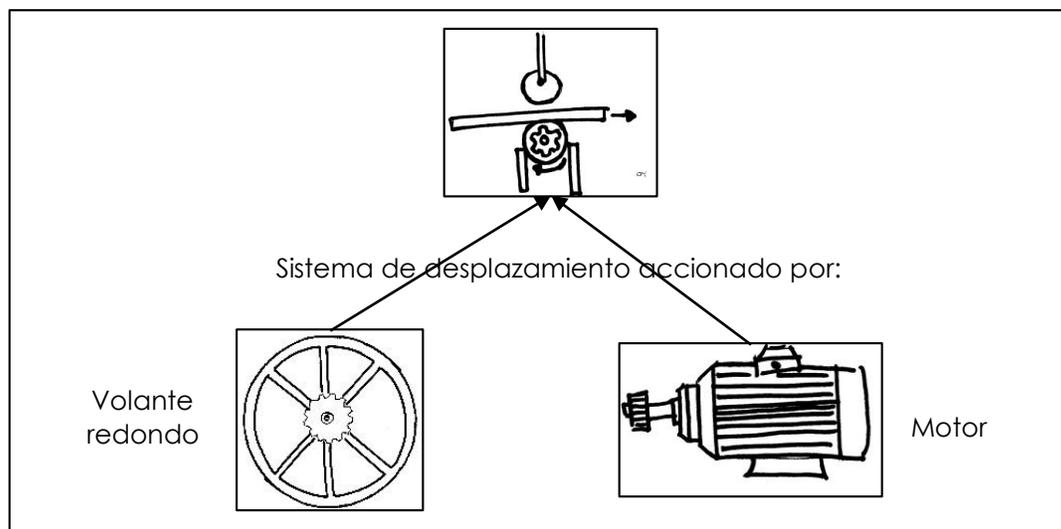


Figura 2-13 Propuestas para producir la rotación del rodillo inferior

En la Figura 2-14 se muestra la perspectiva caballera de la segunda propuesta de configuración con anotaciones de las principales diferencias con respecto a la primera propuesta de configuración.

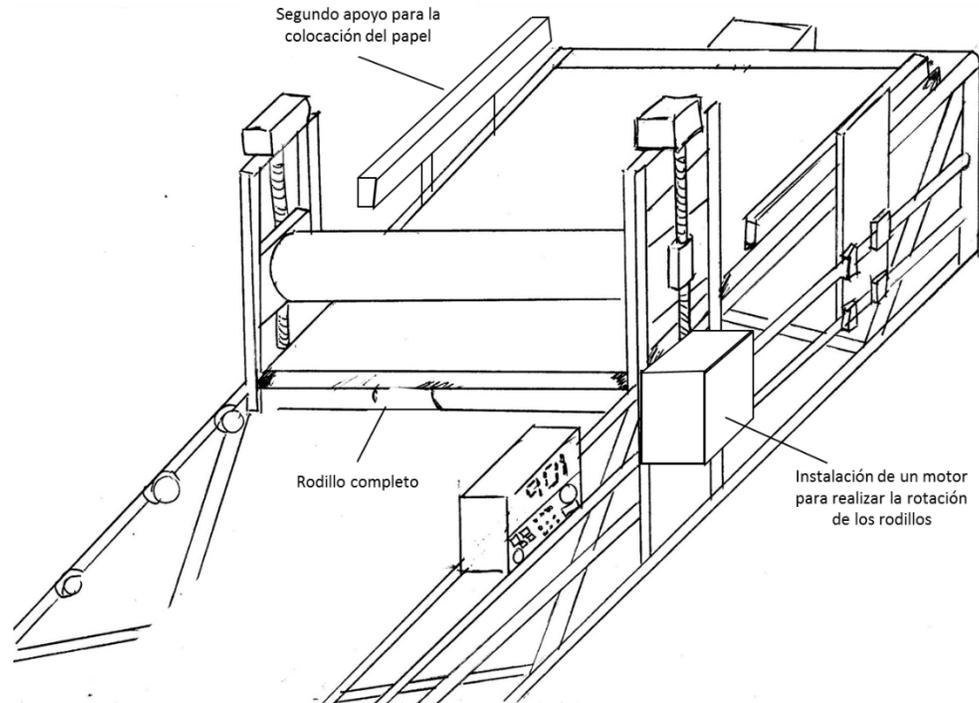


Figura 2-14 Perspectiva caballera de la segunda propuesta de configuración.

Observaciones y comentarios de la segunda propuesta de configuración.

La segunda propuesta de configuración fue más aceptada por el usuario final, sin embargo, comentó que seguía percibiendo una sensación de una máquina muy pesada y tosca, que difícilmente se podría transportar y ensamblar en cualquier taller de grabado.

Por esta razón las alternativas de solución de la segunda propuesta de configuración se evaluaron la matriz de contradicciones de la metodología TRIZ para encontrar alternativas que mejoren la experiencia del usuario.

2.6. Generación de alternativas de solución con TRIZ

TRIZ es una metodología de diseño que cuenta con múltiples herramientas para proponer alternativas de solución innovadoras. Para el diseño de la maquina de impresiones artísticas se utilizó la herramienta de la matriz de contradicciones y se estableció como punto de partida la segunda propuesta de configuración.

La forma de usar la matriz de las contradicciones de TRIZ se presenta en el Anexo 1. El procedimiento de proponer alternativas de solución innovadoras se aplicó a cada sistema para mejorar el diseño conceptual mostrado en la Figura 2-14. La matriz de contradicciones no se utilizó para los sistemas de interfaz con el usuario y

de visualización, pero también se propusieron nuevas alternativas de solución para estos sistemas.

2.6.1. Utilización de la matriz de contradicciones para cada sistema

Se definieron tres principales contradicciones para cada sistema de entre los 39 parámetros de Altshuller mostrados en la Tabla A-1, con las que se ingresó a la matriz de contradicciones mostrada en la Figura A-1 y se obtuvieron los principios inventivos de la Tabla A-2 con los que podría resolverse la contradicción.

De entre los principios inventivos resultantes para cada contradicción se descartaron los que se consideraron no aplicables para el sistema y con los sí aplicables se usaron de base para proponer nuevas alternativas de solución.

Sistema estructural (SE)

La Figura 2-15 muestra la alternativa actual para el SE, la cual se toma como base para el uso de la matriz de contradicciones.

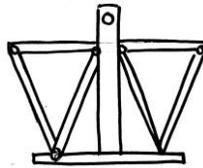


Figura 2-15 Alternativa actual del SE

Resultado de la matriz de contradicciones para el SE

En la Tabla 2-7 se presentan los principales parámetros que se buscan mejorar en el sistema.

Parámetros seleccionados	
2	Peso de un objeto sin movimiento
4	Longitud de un objeto sin movimiento
6	Área de un objeto sin movimiento
8	Volumen de un objeto sin movimiento
13	Estabilidad de un objeto
14	Resistencia
16	Durabilidad de un objeto sin movimiento

Tabla 2-7 Parámetros de Atshuller aplicables al SE

Con base en los requerimientos mostrados en la Tabla 2-1, la Tabla 2-8 muestra las tres principales contradicciones para innovar el SE.

Parámetro que se busca mejorar	Parámetro que empeora
8. Volumen de objeto sin movimiento	2. Peso de objeto sin movimiento

6. Área de un objeto sin movimiento	2. Peso de objeto sin movimiento
4. Longitud de un objeto sin movimiento	2. Peso de objeto sin movimiento

Tabla 2-8 Principales contradicciones del SE

Los principios inventivos aplicables para las contradicciones mostradas en la Tabla 2-8 se presentan en la Tabla 2-9, donde se presenta el número del principio, el nombre del principio, la descripción del principio y si este es aplicable para innovar el sistema.

Principios inventivos aplicables			
No.	Principio	Descripción	¿Aplicable al sistema?
Primera contradicción			
35	Transformación de parámetros físico-químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el estado físico del objeto (gas, líquido o sólido) • Cambiar la concentración o consistencia • Cambiar el grado de flexibilidad 	No
10	Acción preliminar o previa	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un cambio, parcial o completo, a un componente antes de que sea necesitado 	No
19	Acción periódica	<ul style="list-style-type: none"> • Usar acciones continuas, acciones periódicas o acciones pulsantes. • Si la acción ya es periódica modificar la frecuencia • Usar pausas entre impulsos para realizar diferentes acciones 	No
14	Curvatura / Esférico	<ul style="list-style-type: none"> • En lugar de usar partes, superficies o formas rectas utilizar formas curvas o esféricas. • Usar rodamientos, bolas, espirales o domos • Cambiar de movimientos rectilíneos a un movimiento rotatorio. • Usar fuerza centrífuga. 	Si
Segunda contradicción			
28	Substitución mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar medios mecánicos con sensores (óptico, acústico u olor) • Usar campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos para interactuar con el objeto. • Cambiar de campos estáticos a móviles, de campos no estructurados a los que tienen estructura 	No
40	Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar de materiales uniformes a compuestos 	Si
29	Neumática e hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> • Usar gas y líquido en lugar de piezas sólidas. 	No
Tercera Contradicción			
30	Armazón flexible y películas delgadas	<ul style="list-style-type: none"> • Usar armazones flexibles y películas delgadas en lugar de estructuras de tres dimensiones • Aislar el objeto del ambiente externo 	Si

2	Quitar	<ul style="list-style-type: none"> • Separar una parte que interfiera o propiedad de un objeto y dejar solo lo necesario 	Si
18	Vibración mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Causar que el objeto oscile o vibre • Incrementar su frecuencia 	No

Tabla 2-9.- Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SE

Con base en los principios inventivos presentados en la Tabla 2-9 se propusieron nuevas alternativas de solución para el sistema y estas se muestran en la Tabla 2-10.

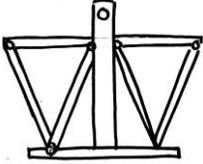
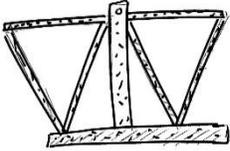
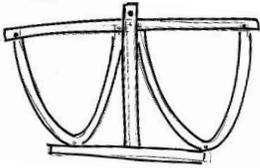
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Propuesta original: Estructura perfilada	Cambiar el concepto de una estructura metálica por una hecha por materiales compuestos.	Modificar la estructura para aumentar su grado de curvatura.
		

Tabla 2-10 Nuevas alternativas de solución para el SE

Sistema de soporte de matriz (SSM)

La Figura 2-16 muestra la alternativa actual para el SSM, la cual se toma como base para el uso de la matriz de contradicciones.

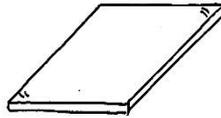


Figura 2-16 Alternativa actual del SSM

Resultado de la matriz de contradicciones para el SSM

En la Tabla 2-11 se presentan los principales parámetros que se buscan mejorar en el sistema.

Parámetros seleccionados	
1	Peso de un objeto en movimiento
3	Longitud de un objeto en movimiento
5	Área de un objeto en movimiento
7	Volumen de un objeto en movimiento
9	Velocidad
12	Forma
13	Estabilidad de un objeto

14	Resistencia
33	Facilidad de operación
37	Complejidad de control
38	Nivel de automatización

Tabla 2-11 Parámetros de Atshuller aplicables al SSM

Con base en los requerimientos mostrados en la Tabla 2-1, la Tabla 2-12 muestra las tres principales contradicciones para innovar el SSM.

Parámetro que se busca mejorar	Parámetro que empeora
38. Nivel de automatización	37. Complejidad de control
5. Área de un objeto en movimiento	1. Peso de un objeto en movimiento
37. Complejidad de control	33. Facilidad de operación

Tabla 2-12 Principales contradicciones del SSM

Principios inventivos aplicables			
No.	Principio	Descripción	¿Aplicable al sistema?
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No
27	Objetos de corta vida económicos	<ul style="list-style-type: none"> Reemplace un objeto barato con múltiples objetos baratos, que comprende ciertas cualidades (como la vida útil) 	Si
25	Autoservicio	<ul style="list-style-type: none"> Haga que un objeto sirva a sí mismo realizando funciones útiles auxiliares. Utilizar recursos de desecho, energía o sustancias 	No
Segunda contradicción			
28	Substitución mecánica	<ul style="list-style-type: none"> Reemplazar medios mecánicos con sensores (óptico, acústico u olor) Usar campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos para interactuar con el objeto. Cambiar de campos estáticos a móviles, de campos no estructurados a los que tienen estructura 	No
40	Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar de materiales uniformes a compuestos 	Si
29	Neumática e hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> Usar gas y líquido en lugar de piezas sólidas. 	Si
Tercera Contradicción			
30	Armazón flexible y películas delgadas	<ul style="list-style-type: none"> Usar armazones flexibles y películas delgadas en lugar de estructuras de tres dimensiones Aislar el objeto del ambiente externo 	Si

2	Quitar	<ul style="list-style-type: none"> Separar una parte que interfiera o propiedad de un objeto y dejar solo lo necesario 	No
18	Vibración mecánica	<ul style="list-style-type: none"> Causar que el objeto oscile o vibre Incrementar su frecuencia 	No

Tabla 2-13 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SSM

Con base en los principios inventivos presentados en la Tabla 2-12 se propusieron nuevas alternativas de solución para el sistema y estas se muestran en la Tabla 2-14.

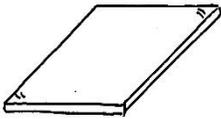
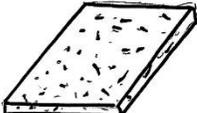
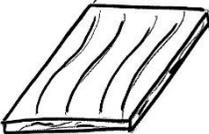
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Propuesta original: Platina sólida.	Reemplazar el material de la platina por placas económicas desechables después de un tiempo de uso.	Reemplazar la platina con el uso de materiales compuestos	Reemplazar la platina de metal por el uso de una platina hecha de gel rígido
			

Tabla 2-14 Nuevas alternativas de solución para el SSM

Sistema de precisión para la colocación del papel y la matriz (SPM)

La Figura 2-17 muestra la alternativa actual para el SPM, la cual se toma como base para el uso de la matriz de contradicciones.



Figura 2-17 Alternativa actual del SPM

Resultado de la matriz de contradicciones para el SPM

En la Tabla 2-15 se presentan los principales parámetros que se buscan mejorar en el sistema.

Parámetros seleccionados	
12	Forma
15	Durabilidad de un objeto en movimiento
24	Pérdida de información
27	Confiablez

28	Precisión de medición
33	Facilidad de operación
35	Adaptabilidad o versatilidad
39	Productividad

Tabla 2-15 Parámetros de Atshuller aplicables al SPM

Con base en los requerimientos mostrados en la Tabla 2-1, la Tabla 2-16 muestra las tres principales contradicciones para innovar el SPM.

Parámetro que se busca mejorar	Parámetro que empeora
27. Confiabilidad	35. Adaptabilidad y versatilidad
28. Precisión de medición	39. Productividad
33. Facilidad de operación	28 Precisión de medición

Tabla 2-16 Principales contradicciones del SPM

Los principios inventivos aplicables para las contradicciones mostradas en la Tabla 2-16 se presentan en la Tabla 2-17, donde se presenta el número del principio, el nombre del principio, la descripción del principio y si este es aplicable para innovar el sistema.

Principios inventivos aplicables			
No.	Principio	Descripción	¿Aplicable al sistema?
35	Transformación de parámetros físico-químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el estado físico del objeto (gas, líquido o sólido) • Cambiar la concentración o consistencia • Cambiar el grado de flexibilidad 	No
13	La otra manera	<ul style="list-style-type: none"> • Invertir acciones usadas para resolver el problema • Hacer las partes fijas movibles y las movibles partes fijas • Cambiar el objeto de cabeza 	Si
8	Anti peso	<ul style="list-style-type: none"> • Para compensar el peso de un objeto, incorporarlo con objeto que le otorguen ligereza. • Para compensar el peso de un objeto , hacer que este interactúe con el ambiente. 	Si
24	Intermediario	<ul style="list-style-type: none"> • Usar un artículo intermediario que cargue o un proceso intermedio. • Combinar un objeto temporalmente con otro. 	Si
Segunda contradicción			
10	Acción preliminar o previa	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un cambio, parcial o completo, a un componente antes de que sea necesitado 	No
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. 	No

		<ul style="list-style-type: none"> • Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	
28	Substitución mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar medios mecánicos con sensores (óptico, acústico u olor) • Usar campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos para interactuar con el objeto. • Cambiar de campos estáticos a móviles, de campos no estructurados a los que tienen estructura 	Si
32	Cambiar colores	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el color de un objeto o de su ambiente externo • Cambiar la transparencia de un objeto o de su ambiente externo. 	Si
Tercera Contradicción			
25	Autoservicio	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que un objeto sirva a sí mismo realizando funciones útiles auxiliares. • Utilizar recursos de desecho, energía o sustancias 	No
13	La otra manera	<ul style="list-style-type: none"> • Invertir acciones usadas para resolver el problema • Hacer las partes fijas móviles y las móviles partes fijas • Cambiar l objeto de cabeza 	Si
2	Quitar	<ul style="list-style-type: none"> • Separar una parte que interfiera o propiedad de un objeto y dejar solo lo necesario 	Si
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. • Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No

Tabla 2-17 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SPM

Con base en los principios inventivos presentados en la Tabla 2-17 se propusieron nuevas alternativas de solución para el sistema y estas se muestran en la Tabla 2-18.

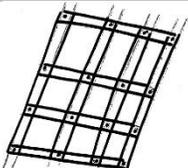
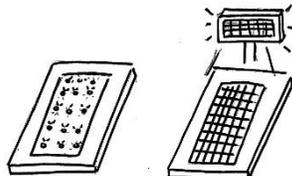
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Propuesta original La guía de posicionamiento es trazada directamente sobre la platina.	La guía de posicionamiento es un componente desmontable	La guía de posicionamiento se realiza con luz.
		

Tabla 2-18 Nuevas alternativas de solución para el SPM

Sistema de apoyo para la colocación del papel (SAP)

La Figura 2-18 muestra la alternativa actual para el SAP, la cual se toma como base para el uso de la matriz de contradicciones.

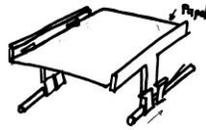


Figura 2-18 Alternativa actual del SAP

Matriz de contradicciones para el SAP

En la Tabla 2-19 se presentan los principales parámetros que se buscan mejorar en el sistema.

Parámetros seleccionados	
1	Peso de un objeto en movimiento
3	Longitud de un objeto en movimiento
7	Volumen de un objeto en movimiento
13	Estabilidad de un objeto
25	Desperdicio de tiempo
27	Confiabilidad
28	Precisión de medición
33	Facilidad de operación
36	Complejidad de mecanismo
37	Complejidad de control
38	Nivel de automatización
39	Productividad

Tabla 2-19 Parámetros de Atshuller aplicables al SAP

Con base en los requerimientos mostrados en la Tabla 2-1, la Tabla 2-20 muestra las tres principales contradicciones para innovar el SAP.

Parámetro que se busca mejorar	Parámetro que empeora
13. Estabilidad de un objeto	1. Peso de un objeto en movimiento
28. Precisión de medición	36. Complejidad de mecanismo
33. Facilidad de operación	27. Confiabilidad

Tabla 2-20 Principales contradicciones del SAP

Los principios inventivos aplicables para las contradicciones mostradas en la Tabla 2-20 se presentan en la Tabla 2-21, donde se presenta el número del principio, el nombre del principio, la descripción del principio y si este es aplicable para innovar el sistema.

Principios inventivos aplicables

No.	Principio	Descripción	¿Aplicable al sistema?
21	Skipping	<ul style="list-style-type: none"> Conducir un proceso, o etapas determinadas a elevadas velocidades. 	No
35	Transformación de parámetros físico-químicos	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar el estado físico del objeto (gas, líquido o sólido) Cambiar la concentración o consistencia Cambiar el grado de flexibilidad 	No
2	Quitar	<ul style="list-style-type: none"> Separar una parte que interfiera o propiedad de un objeto y dejar solo lo necesario 	Si
39	Atmosfera inerte	<ul style="list-style-type: none"> Reemplazar un ambiente normal por uno inerte Adherir partes neutrales o aditivos inertes al objeto. 	No
Segunda contradicción			
27	Objetos de corta vida económicos	<ul style="list-style-type: none"> Reemplace un objeto barato con múltiples objetos baratos, que comprende ciertas cualidades (como la vida útil) 	Si
35	Transformación de parámetros físico-químicos	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar el estado físico del objeto (gas, líquido o sólido) Cambiar la concentración o consistencia Cambiar el grado de flexibilidad 	No
10	Acción preliminar o previa	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un cambio, parcial o completo, a un componente antes de que sea necesitado 	Si
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No
Tercera Contradicción			
17	Otra dimensión	<ul style="list-style-type: none"> Par mover un objeto en dos o tres espacios dimensionales Usar un arreglo de objetos con múltiples pisos en lugar de objetos con un solo piso (ejemplo: Grabadora con espacio para 6 CD) Inclinar o reorientar el objeto, ponerlo de lado. Usar el otro lado de un área específica. 	Si
27	Objetos de corta vida económicos	<ul style="list-style-type: none"> Reemplace un objeto barato con múltiples objetos baratos, que comprende ciertas cualidades (como la vida útil) 	Si

8	Anti peso	<ul style="list-style-type: none"> Para compensar el peso de un objeto, incorporarlo con objeto que le otorguen ligereza. Para compensar el peso de un objeto , hacer que este interactúe con el ambiente. 	Si
40	Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar de materiales uniformes a compuestos 	Si

Tabla 2-21 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SAP

Con base en los principios inventivos presentados en la Tabla 2-21 se propusieron nuevas alternativas de solución para el sistema y estas se muestran en la Tabla 2-22.

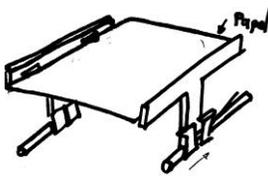
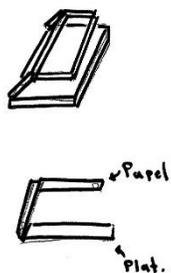
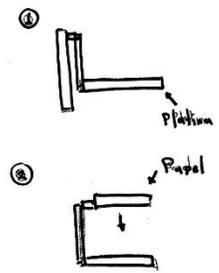
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Propuesta original:	Cambiar el movimiento de posicionamiento de vertical a diagonal	Cambiar el movimiento de posicionamiento en dos fases, Primero vertical y luego horizontal
		

Tabla 2-22 Nuevas alternativas de solución para el SAP

Sistema de desplazamiento (SDA)

La Figura 2-19 muestra la alternativa actual para el SDA, la cual se toma como base para el uso de la matriz de contradicciones.

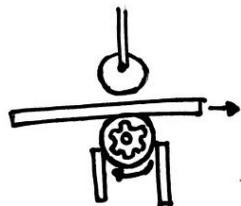


Figura 2-19 Alternativa actual del SDA

Matriz de contradicciones para el SDA

En la Tabla 2-23 se presentan los principales parámetros que se buscan mejorar en el sistema.

Parámetros seleccionados	
1	Peso de un objeto en movimiento
3	Longitud de un objeto en movimiento
5	Área de un objeto en movimiento
7	Volumen de un objeto en movimiento
9	Velocidad
10	Fuerza
11	Tensión/Presión
12	Forma
13	Estabilidad de un objeto
14	Resistencia
15	Durabilidad de un objeto en movimiento
36	Complejidad de mecanismo
37	Complejidad de control
38	Nivel de automatización
39	Productividad

Tabla 2-23 Parámetros de Atshuller aplicables al SDA

Con base en los requerimientos mostrados en la Tabla 2-1, la Tabla 2-25 muestra las tres principales contradicciones para innovar el SDA.

Parámetro que se busca mejorar	Parámetro que empeora
9. Velocidad	13. Estabilidad de un objeto
10. Fuerza	9. Velocidad
38. Nivel de automatización	37. Complejidad de control

Tabla 2-24 Principales contradicciones del SDA

Los principios inventivos aplicables para las contradicciones mostradas en la tabla 32 se presentan en la tabla 33, donde se presenta el número del principio, el nombre del principio, la descripción del principio y si este es aplicable para innovar el sistema.

Principios inventivos aplicables			
No.	Principio	Descripción	¿Aplicable al sistema?
28	Substitución mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar medios mecánicos con sensores (óptico, acústico u olor) • Usar campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos para interactuar con el objeto. • Cambiar de campos estáticos a móviles, de campos no estructurados a los que tienen estructura 	Si

33	Homogeneidad	<ul style="list-style-type: none"> Hacer objetos que interactúan con un objeto dado del mismo material (o un material con propiedades idénticas) 	Si
1	Segmentación	<ul style="list-style-type: none"> Dividir un objeto en partes independientes Hacer un objeto fácil de desensamblar Incrementar el grado de fragmentación o segmentación 	Si
18	Vibración mecánica	<ul style="list-style-type: none"> Causar que el objeto oscile o vibre Incrementar su frecuencia 	No
Segunda contradicción			
13	La otra manera	<ul style="list-style-type: none"> Invertir acciones usadas para resolver el problema Hacer las partes fijas móviles y las móviles partes fijas Cambiar el objeto de cabeza 	Si
28	Substitución mecánica	<ul style="list-style-type: none"> Reemplazar medios mecánicos con sensores (óptico, acústico u olor) Usar campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos para interactuar con el objeto. Cambiar de campos estáticos a móviles, de campos no estructurados a los que tienen estructura 	No
15	Dinámicas	<ul style="list-style-type: none"> Permitir (o diseñar) las características de un objeto, entorno externo o proceso para que sean óptimos o para encontrar una condición de funcionamiento óptima Dividir un objeto en partes capaces de moverse relativamente unas con otras Si un objeto es rígido o inflexible, hacerlo móvil o adaptativo 	Si
12	Equipotencial	<ul style="list-style-type: none"> En un campo potencial, limitar los cambios de posición. 	Si
Tercera contradicción			
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No
27	Objetos de corta vida económicos	<ul style="list-style-type: none"> Reemplace un objeto barato con múltiples objetos baratos, que comprenden ciertas cualidades (como la vida útil) 	No
25	Autoservicio	<ul style="list-style-type: none"> Haga que un objeto sirva a sí mismo realizando funciones útiles auxiliares. 	Si

		<ul style="list-style-type: none"> Utilizar recursos de desecho, energía o sustancias 	
--	--	--	--

Tabla 2-25 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SDA

Con base en los principios inventivos presentados en la Tabla 2-25 se propusieron nuevas alternativas de solución para el sistema y estas se muestran en la Tabla 2-26.

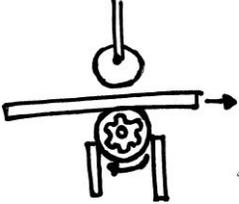
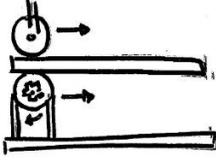
Alternativa 1	Alternativa 2
Propuesta original: El rodillo inferior rota y gracias a la presión que se ejerce se está ejerciendo permite el desplazamiento de la platina.	En lugar de mover la platina con la fuerza de los rodillos, que los rodillos se desplacen sobre la platina.
	

Tabla 2-26 Nuevas alternativas de solución para el SDA

Sistema de aplicación de presión (SP)

La Figura 2-20 muestra la alternativa actual para el SP, la cual se toma como base para el uso de la matriz de contradicciones.

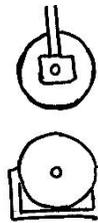


Figura 2-20 Alternativa actual del SP

Matriz de contradicciones para el SP

En la Tabla 2-27 se presentan los principales parámetros que se buscan mejorar en el sistema.

Parámetros seleccionados	
1	Peso de un objeto en movimiento
3	Longitud de un objeto en movimiento
5	Área de un objeto en movimiento
7	Volumen de un objeto en movimiento
9	Velocidad
10	Fuerza
11	Tensión/Presión

12	Forma
13	Estabilidad de un objeto
14	Resistencia
27	Confiabilidad
33	Facilidad de operación
35	Adaptabilidad o versatilidad
36	Complejidad de mecanismo
37	Complejidad de control
38	Nivel de automatización

Tabla 2-27 Parámetros de Atshuller aplicables al SP

Con base en los requerimientos mostrados en la Tabla 2-1, la Tabla 2-28 muestra las tres principales contradicciones para innovar el SP.

Parámetro que se busca mejorar	Parámetro que empeora
7. Volumen de un objeto en movimiento	1. Peso de un objeto en movimiento
11. Tensión/Presión	14. Resistencia
33. Facilidad de operación	27. Confiabilidad
38. Nivel de automatización	37. Complejidad de control

Tabla 2-28 Principales contradicciones del SP

Los principios inventivos aplicables para las contradicciones mostradas en la Tabla 2-28 se presentan en la Tabla 2-29, donde se presenta el número del principio, el nombre del principio, la descripción del principio y si este es aplicable para innovar el sistema.

Principios inventivos aplicables			
No.	Principio	Descripción	¿Aplicable al sistema?
2	Quitar	<ul style="list-style-type: none"> Separar una parte que interfiera o propiedad de un objeto y dejar solo lo necesario 	Si
26	Copiar	<ul style="list-style-type: none"> En lugar de un objeto invaluable, costoso y frágil, utilizar simples y económicas copias. Reemplazar un objeto con copias ópticas Si copias ópticas visibles son ya usadas, moverlas hacia el campo del infrarrojo o ultravioleta. 	No
40	Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar de materiales uniformes a compuestos 	Si
29	Neumática e hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> Usar gas y líquido en lugar de piezas sólidas. 	No
Segunda contradicción			
9	Anti acción preliminar	<ul style="list-style-type: none"> Si fuera necesario hacer una acción útil pero dañina, esta acción puede 	Si

		<p>ser remplazada con anti acciones para controlar los efectos dañinos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear de antemano tensiones en un objeto que se oponen a las tensiones de trabajo indeseables. 	
18	Vibración mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Causar que el objeto oscile o vibre • Incrementar su frecuencia 	No
3	Calidad local	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar la estructura de un objeto de uniforme a no uniforme, cambiar un entorno externo de uniforme a no uniforme. • Hacer cada parte de un objeto funcione en las condiciones más adecuadas para su funcionamiento. • Hacer cada parte del objeto cumpla con una función diferente y útil. 	Si
40	Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar de materiales uniformes a compuestos 	Si
Tercera contradicción			
17	Otra dimensión	<ul style="list-style-type: none"> • Par mover un objeto en dos o tres espacios dimensionales • Usar un arreglo de objetos con múltiples pisos en lugar de objetos con un solo piso (ejemplo: Grabadora con espacio para 6 CD) • Inclinar o reorientar el objeto, ponerlo de lado. • Usar el otro lado de un área específica. 	Si
27	Objetos de corta vida económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplace un objeto barato con múltiples objetos baratos, que comprende ciertas cualidades (como la vida útil) 	No
8	Anti peso	<ul style="list-style-type: none"> • Para compensar el peso de un objeto, incorporarlo con objeto que le otorguen ligereza. • Para compensar el peso de un objeto, hacer que este interactúe con el ambiente. 	Si
40	Materiales compuestos	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar de materiales uniformes a compuestos 	Si
Cuarta contradicción			
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. • Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No
27	Objetos de corta vida económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplace un objeto barato con múltiples objetos baratos, que 	No

		comprende ciertas cualidades (como la vida útil)	
25	Autoservicio	<ul style="list-style-type: none"> Haga que un objeto sirva a sí mismo realizando funciones útiles auxiliares. Utilizar recursos de desecho, energía o sustancias 	Si

Tabla 2-29 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SP

Con base en los principios inventivos presentados en la Tabla 2-29 se propusieron nuevas alternativas de solución para el sistema y estas se muestran en la Tabla 2-36.

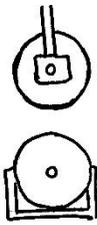
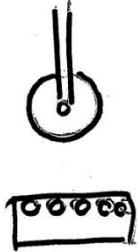
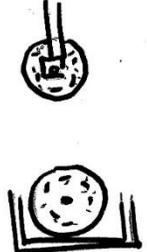
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Propuesta original: Ejercer presión con el uso de dos rodillos metálicos	Quitar el rodillo inferior para solo utilizar un rodillo superior.	Remplazar el material de los rodillos con el uso de materiales compuestos
		

Tabla 2-30 Nuevas alternativas de solución para el SP

Sistema de control de presión (SCP)

La Figura 2-21 muestra la alternativa actual para el SCP, la cual se toma como base para el uso de la matriz de contradicciones.

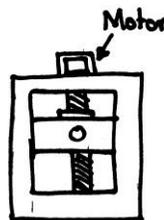


Figura 2-21 Alternativa actual del SCP

Matriz de contradicciones para el SCP

En la Tabla 2-31 se presentan los principales parámetros que se buscan mejorar en el sistema.

Parámetros seleccionados

12	Forma
13	Estabilidad de un objeto
14	Resistencia
15	Durabilidad de un objeto en movimiento
24	Pérdida de información
25	Desperdicio de tiempo
27	Confiabilidad
28	Precisión de medición
33	Facilidad de operación
35	Adaptabilidad o versatilidad
36	Complejidad de mecanismo
37	Complejidad de control
38	Nivel de automatización
39	Productividad

Tabla 2-31 Parámetros de Atshuller aplicables al SCP

Con base en los requerimientos mostrados en la Tabla 2-1, la Tabla 2-32 muestra las tres principales contradicciones para innovar el SCP.

Parámetro que se busca mejorar	Parámetro que empeora
28. Precisión de medición	39. Productividad
33. Facilidad de operación	28. Precisión de medición
38. Nivel de automatización	37. Complejidad de control

Tabla 2-32 Principales contradicciones del SCP

Los principios inventivos aplicables para las contradicciones mostradas en la Tabla 2-32 se presentan en la Tabla 2-34, donde se presenta el número del principio, el nombre del principio, la descripción del principio y si este es aplicable para innovar el sistema.

Principios inventivos aplicables			
No.	Principio	Descripción	¿Aplicable al sistema?
10	Acción preliminar o previa	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un cambio, parcial o completo, a un componente antes de que sea necesitado 	Si
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No

28	Substitución mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar medios mecánicos con sensores (óptico, acústico u olor) • Usar campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos para interactuar con el objeto. • Cambiar de campos estáticos a móviles, de campos no estructurados a los que tienen estructura 	No
32	Cambiar colores	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el color de un objeto o de su ambiente externo • Cambiar la transparencia de un objeto o de su ambiente externo. 	Si
Segunda contradicción			
25	Autoservicio	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que un objeto sirva a sí mismo realizando funciones útiles auxiliares. • Utilizar recursos de desecho, energía o sustancias 	Si
13	La otra manera	<ul style="list-style-type: none"> • Invertir acciones usadas para resolver el problema • Hacer las partes fijas móviles y las móviles partes fijas • Cambiar l objeto de cabeza 	No
2	Quitar	<ul style="list-style-type: none"> • Separar una parte que interfiera o propiedad de un objeto y dejar solo lo necesario 	Si
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. • Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No
Tercera Contradicción			
34	Descartar y recuperar	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que las partes de un objeto que han cumplido sus funciones desaparezcan. • Por el contrario, restaure partes consumibles de un objeto directamente en funcionamiento 	No
27	Objetos de corta vida económicos	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplace un objeto barato con múltiples objetos baratos, que comprende ciertas cualidades (como la vida útil) 	No
25	Autoservicio	<ul style="list-style-type: none"> • Haga que un objeto sirva a sí mismo realizando funciones útiles auxiliares. • Utilizar recursos de desecho, energía o sustancias 	Si

Tabla 2-33 Tabla de los Principios inventivos aplicables para el SCP

Con base en los principios inventivos presentados en la Tabla 2-33 se propusieron nuevas alternativas de solución para el sistema y estas se muestran en la Tabla 2-34.

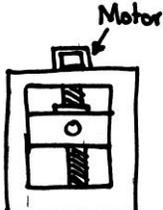
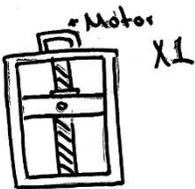
Alternativa 1	Alternativa 2
Propuesta original: Controlar el sistema de precisión con un motor en cada tornillo de precisión.	En lugar de utilizar dos motores para controlar la distancia entre rodillos utilizar uno.
	

Tabla 2-34 Nuevas alternativas de solución para el SCP

Sistema de interacción con el usuario (SIU)

La alternativa actual del SIU se presenta en la Figura 2-22.

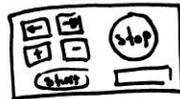


Figura 2-22 Alternativa actual del SIU

Las nuevas alternativas de solución para el sistema se presentan en la Tabla 2-35.

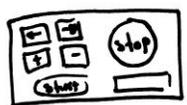
Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Propuesta original: Panel de botones	Pantalla interactiva táctil	Tira de control	Aplicación móvil	Control por ordenador
				

Tabla 2-35 Nuevas alternativas de solución para el SIU

Sistema de visualización (SV)

La alternativa actual del SV se presenta en la Figura 2-23.



Figura 2-23 Alternativa actual del SV

Las nuevas alternativas de solución para el sistema se presentan en la Tabla 2-36.

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
---------------	---------------	---------------	---------------

Propuesta original: Pantalla Led	Pantalla interactiva táctil	Aplicación móvil	Ordenador
			

Tabla 2-36 Nuevas alternativas de solución para el SV

2.7. Criterio de factor de peso y matriz de decisión

Con las nuevas alternativas de solución se prosiguió a seleccionar las que mejor cumplen los requerimientos y especificaciones definidos por el usuario utilizando el método de factor de peso y la matriz de decisión (Dieter & Schmidt, 2009). Para cada sistema.

2.7.1. Sistema estructural (SE)

Los criterios con los que se evalúa el sistema estructural se presentan en la Tabla 2-37.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5	INS
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Tamaño mínimo de tabla para imprimir	20 x 30 [cm]	2	MIT
Tamaño máximo de tabla para imprimir	120 x 300 [cm]	3	MAT
Máximo grosor de la matriz	30 [cm]	3	MGO

Tabla 2-37 Criterios que debe cumplir el sistema estructural

Factor de peso

Se compara la importancia de cada criterio con los demás para determinar su factor de peso. El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema estructural se presenta en la Tabla 2-38

	COM	ING	LIG	ECO	DES	INS	POR	MIT	MAT	MGO	Suma	Factor de peso
COM		1	1	1	1	0	0	1	1	1	7	0.16
ING	0		1	1	1	0	0	1	1	1	6	0.13
LIG	0	0		1	0	0	0	1	0	0	2	0.04
ECO	0	0	0		0	0	0	1	0	0	1	0.02
DES	0	0	1	1		0	0	1	1	1	5	0.11
INS	1	1	1	1	1		1	1	1	1	9	0.20
POR	1	1	1	1	1	0		1	1	1	8	0.18
MIT	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0.00
MAT	0	0	1	1	0	0	0	1		1	4	0.09
MGO	0	0	1	1	0	0	0	1	0		3	0.07
										Total	45	1

Tabla 2-38 Tabla de factor de peso del SE

Matriz de decisión

Con el factor de peso definido para cada criterio se elaboró una matriz de decisión para seleccionar la mejor alternativa de solución, de entre las propuestas para el sistema estructural en la sección 2.6, que mejor cumple con los criterios de la Tabla 2-37.

Se utilizó una escala del 1 al 10 para evaluar que tan efectiva es la alternativa de solución para cumplir con el criterio, donde 1 es "no cumple el criterio" y 10 es "cumple completamente el criterio". La evaluación se multiplicó por el factor de peso para obtener el puntaje de cumplimiento. Finalmente se sumaron los puntajes para todos los criterios y así obtener la puntuación total de la propuesta de solución.

Para todas las matrices de decisión en donde las alternativas de solución con mayor puntaje tienen una diferencia entre 0 y 0.1 puntos con la solución que quedó en segundo lugar, ambas propuestas son válidas, sin embargo, el factor decisivo para seleccionar la opción ganadora en estos casos fue la opinión de los artistas visuales.

La matriz de decisión obtenida para el sistema estructural se presenta en la Tabla 2-39. Se observa que la propuesta con mayor puntaje es la alternativa 1, estructura perfilada, por lo que es la opción ganadora.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
--	---------------	---------------	---------------

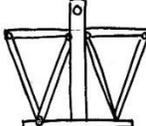
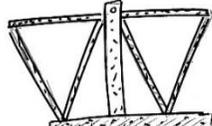
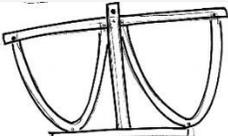
Requerimiento	Factor de peso						
COM	0.16	6	0.96	6	0.96	6	0.96
ING	0.13	8	1.04	7	0.91	6	0.78
LIG	0.04	7	0.28	8	0.32	7	0.28
ECO	0.02	8	0.16	4	0.08	7	0.14
DES	0.11	7	0.77	7	0.77	7	0.77
INS	0.2	9	1.8	9	1.8	9	1.8
POR	0.18	6	1.08	6	1.08	6	1.08
MIT	0	10	0	10	0	10	0
MAT	0.09	10	0.9	10	0.9	10	0.9
MGO	0.07	10	0.7	10	0.7	10	0.7
Puntuación			7.69		7.52		7.41

Tabla 2-39 Matriz de decisión para el SE

Este procedimiento se realizó para cada uno de los sistemas del diagrama de sistemas.

2.7.2. Sistema de soporte de matriz (SSM)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de soporte de matriz se presentan en la Tabla 2-40.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5	INS
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
No perder su carácter artístico – artesanal	Permitir el ingreso de materiales experimentales por el artista	5	ART

Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Tamaño mínimo de tabla para imprimir	20 x 30 [cm]	2	MIT
Tamaño máximo de tabla para imprimir	120 x 300 [cm]	3	MAT
Máximo grosor de la matriz	30 [cm]	3	MGO
Precisión al colocar el papel	Precisión de 1 mm	4	PCP
Número de personas indispensables para poder colocar el papel	1 persona	5	PIP
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI

Tabla 2-40 Requerimientos que se aplican al sistema de soporte de matriz

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de soporte de matriz se presenta en la Tabla 2-41.

	COM	ING	LIG	ECO	DES	INS	POR	EFI	ART	MEH
COM		1	1	1	1	0	0	0	0	0
ING	0		1	1	1	0	0	0	0	0
LIG	0	0		1	0	0	0	0	0	0
ECO	0	0	0		0	0	0	0	0	0
DES	0	0	1	1		0	0	0	0	0
INS	1	1	1	1	1		1	0	0	0
POR	1	1	1	1	1	0		0	0	0
EFI	1	1	1	1	1	1	1		0	0
ART	1	1	1	1	1	1	1	1		1
MEH	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
RPC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAT	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
MGO	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
PCP	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
PIP	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

PRI	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

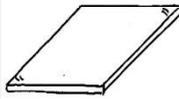
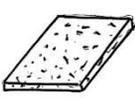
Tabla 2-41 Factor de peso para el SSM

	RPC	MIT	MAT	MGO	PCP	PIP	PRI	Suma	Factor de peso
COM	1	1	1	1	1	0	0	9	0.07
ING	1	1	1	1	0	0	0	7	0.05
LIG	1	1	0	0	0	0	0	3	0.02
ECO	1	1	0	0	0	0	0	2	0.01
DES	1	1	1	1	0	0	0	6	0.04
INS	1	1	1	1	1	0	0	11	0.08
POR	1	1	1	1	1	0	0	10	0.07
EFI	1	1	1	1	1	0	0	12	0.09
ART	1	1	1	1	1	1	1	16	0.12
MEH	1	1	1	1	0	0	1	13	0.10
RPC		1	0	0	0	0	0	1	0.01
MIT	0		0	0	0	0	0	0	0.00
MAT	1	1		1	0	0	0	5	0.04
MGO	1	1	0		0	0	0	4	0.03
PCP	1	1	1	1		0	0	9	0.07
PIP	1	1	1	1	1		0	14	0.10
PRI	1	1	1	1	1	1		14	0.10
							Total	136	1

Tabla 2-41 cont. Factor de peso para el SSM

Matriz de decisión

La matriz de decisión obtenida para el sistema de soporte de matriz se presenta en la Tabla 2-42. Se observa que las propuestas con mayor puntaje son la número dos y cuatro, que tienen de diferencia una centésima de puntuación, por lo que ambas alternativas son válidas. Por lo que el factor decisivo de selección fue la opinión de los artistas visuales que consideraron que el uso de la solución número cuatro no les proporcionó la confianza suficiente para el proceso de impresiones artísticas, por lo que la solución dos, platina económica reemplazable, es la opción ganadora.

Requerimiento	Factor de peso	Alt1		Alt2		Alt3		Alt4	
									
COM	0.07	4	0.26	4	0.26	4	0.26	4	0.26
ING	0.05	3	0.15	7	0.36	7	0.36	8	0.41
LIG	0.02	3	0.07	8	0.18	8	0.18	8	0.18
ECO	0.01	4	0.06	7	0.10	7	0.10	6	0.09
DES	0.04	3	0.13	8	0.35	7	0.31	7	0.31

INS	0.08	6	0.49	7	0.57	7	0.57	7	0.57
POR	0.07	2	0.15	8	0.59	7	0.51	8	0.59
EFI	0.09	8	0.71	8	0.71	8	0.71	8	0.71
ART	0.12	10	1.18	10	1.18	10	1.18	10	1.18
MEH	0.10	6	0.57	8	0.76	8	0.76	8	0.76
RPC	0.01	4	0.03	5	0.04	5	0.04	5	0.04
MIT	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00
MAT	0.04	10	0.37	10	0.37	10	0.37	10	0.37
MGO	0.03	10	0.29	10	0.29	10	0.29	10	0.29
PCP	0.07	5	0.33	5	0.33	5	0.33	5	0.33
PIP	0.10	3	0.31	3	0.31	3	0.31	3	0.31
PRI	0.10	6	0.62	8	0.82	8	0.82	8	0.82
Puntuación			5.71		7.22		7.10		7.21

Tabla 2-42 Matriz de decisión para el SSM

2.7.3. Sistema de precisión para la colocación del papel y la matriz (SPM)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de precisión para la colocación del papel y la matriz se presentan en la Tabla 2-43.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5	INS
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Proporcione impresiones de alta calidad	Calidad de imagen	4	IAC
Precisión al colocar el papel	Precisión de 1 mm	4	PCP

Número de personas indispensables para poder colocar el papel	1 persona	5	PIP
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI

Tabla 2-43 Sistema de precisión para la colocación del papel y la matriz (SPM)

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de precisión para la colocación del papel y la matriz se presenta en la Tabla 2-44.

	ING	LIG	ECO	DES	INS	POR	EFI	MEH
ING		1	1	1	0	0	0	0
LIG	0		1	0	0	0	0	0
ECO	0	0		0	0	0	0	0
DES	0	1	1		0	0	0	0
INS	1	1	1	1		1	0	0
POR	1	1	1	1	0		0	0
EFI	1	1	1	1	1	1		0
MEH	1	1	1	1	1	1	1	
RPC	0	0	0	0	0	0	0	0
IAC	1	1	1	1	0	0	0	0
PCP	1	1	1	1	0	0	0	1
PIP	1	1	1	1	1	1	1	1
PRI	1	1	1	1	1	1	1	0

Tabla 2-44 Factor de peso para el SPM

	RPC	IAC	PCP	PIP	PRI	Suma	Factor de peso
ING	1	0	0	0	0	4	0.05
LIG	1	0	0	0	0	2	0.03
ECO	1	0	0	0	0	1	0.01
DES	1	0	0	0	0	3	0.04
INS	1	1	1	0	0	8	0.10
POR	1	1	1	0	0	7	0.09
EFI	1	1	1	0	0	9	0.12
MEH	1	1	0	0	1	10	0.13
RPC		0	0	0	0	0	0.00
IAC	1		0	0	0	5	0.06
PCP	1	1		0	0	7	0.09
PIP	1	1	1		0	11	0.14
PRI	1	1	1	1		11	0.14
					Total	78	1.00

Tabla 2-44 cont. Factor de peso para el SPM

Matriz de decisión

La matriz de decisión obtenida para el sistema de soporte de matriz se presenta en la Tabla 2-45. Se observa que la propuesta con mayor puntaje es la alternativa 1, platina con guía incorporada, por lo que es la opción ganadora.

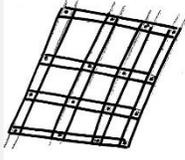
Requerimiento	Factor de peso	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
							
ING	0.05	10	0.51	8	0.41	10	0.51
LIG	0.03	10	0.26	7	0.18	7	0.18
ECO	0.01	9	0.12	7	0.09	6	0.08
DES	0.04	10	0.38	8	0.31	6	0.23
INS	0.10	10	1.03	10	1.03	10	1.03
POR	0.09	8	0.72	8	0.72	7	0.63
EFI	0.12	7	0.81	6	0.69	8	0.92
MEH	0.13	9	1.15	7	0.90	9	1.15
RPC	0.00	10	0.00	8	0.00	10	0.00
IAC	0.06	9	0.58	9	0.58	10	0.64
PCP	0.09	8	0.72	8	0.72	8	0.72
PIP	0.14	10	1.41	10	1.41	10	1.41
PRI	0.14	10	1.41	10	1.41	10	1.41
Puntuación			9.09		8.44		8.91

Tabla 2-45 Matriz de decisión para el SPM

2.7.4. Sistema de apoyo para la colocación del papel (SAP)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de apoyo para la colocación del papel se presentan en la Tabla 2-46.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO

Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5	INS
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Proporcione impresiones de alta calidad	Calidad de imagen	4	IAC
Tamaño mínimo de tabla para imprimir	20 x 30 [cm]	2	MIT
Tamaño máximo de tabla para imprimir	120 x 300 [cm]	3	MAT
Precisión al colocar el papel	Precisión de 1 mm	4	PCP
Número de personas indispensables para poder colocar el papel	1 persona	5	PIP
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI

Tabla 2-46.- Requerimientos para el Sistema de apoyo para la colocación del papel (SAP)

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de apoyo para la colocación del papael se presenta en la Tabla 2-47.Tabla 2-38

	COM	ING	LIG	ECO	DES	INS	POR	EFI	MEH
COM	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ING	0	1	0	0	0	0	0	0	0
LIG	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ECO	0	0	0	1	0	0	0	0	0
DES	0	0	1	1	1	0	0	0	0
INS	1	1	1	1	1	1	0	0	0
POR	1	1	1	1	1	0	1	0	0
EFI	1	1	1	1	1	1	1	1	0

MEH	1	1	1	1	1	1	1	1	
RPC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IAC	0	1	1	1	1	0	0	0	0
MIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAT	0	0	1	1	0	0	0	0	0
PCP	0	1	1	1	1	0	0	0	1
PIP	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PRI	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Tabla 2-47 Factor de peso para el SAP

	RPC	IAC	MIT	MAT	PCP	PIP	PRI	Suma	Factor de Peso
COM	1	1	1	1	1	0	0	9	0,08
ING	1	0	1	1	0	0	0	6	0,05
LIG	1	0	1	0	0	0	0	3	0,03
ECO	1	0	1	0	0	0	0	2	0,02
DES	1	0	1	1	0	0	0	5	0,04
INS	1	1	1	1	1	0	0	11	0,09
POR	1	1	1	1	1	0	0	10	0,08
EFI	1	1	1	1	1	0	0	12	0,10
MEH	1	1	1	1	0	0	1	13	0,11
RPC		0	1	0	0	0	0	1	0,01
IAC	1		1	1	0	0	0	7	0,06
MIT	0	0		0	0	0	0	0	0,00
MAT	1	0	1		0	0	0	4	0,03
PCP	1	1	1	1		0	0	9	0,08
PIP	1	1	1	1	1		0	14	0,12
PRI	1	1	1	1	1	1		14	0,12
							Total	120	1,00

Tabla 2-47 cont. Factor de peso para el SAP

Matriz de decisión

La matriz de decisión obtenida para el sistema de apoyo para la colocación del papel se presenta en la Tabla 2-48. Se observa que la propuesta con mayor puntaje es la alternativa 3, estructura dividida en dos movimientos, por lo que es la opción ganadora.

	Alternativa 1	Alternativa2	Alternativa 3
--	---------------	--------------	---------------

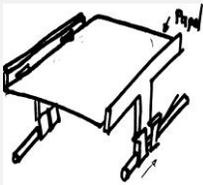
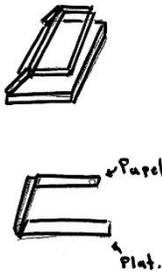
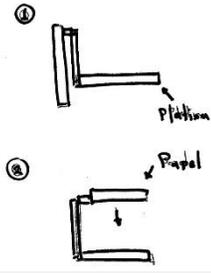
Requerimiento	Factor de peso						
COM	0.08	7	0.53	8	0.60	9	0.68
ING	0.05	10	0.50	10	0.50	10	0.50
LIG	0.03	7	0.18	8	0.20	7	0.18
ECO	0.02	6	0.10	5	0.08	5	0.08
DES	0.04	8	0.33	9	0.38	9	0.38
INS	0.09	10	0.92	10	0.92	10	0.92
POR	0.08	8	0.67	9	0.75	8	0.67
EFI	0.10	7	0.70	8	0.80	7	0.70
MEH	0.11	6	0.65	6	0.65	6	0.65
RPC	0.01	7	0.06	7	0.06	6	0.05
IAC	0.06	8	0.47	7	0.41	8	0.47
MIT	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00
MAT	0.03	10	0.33	10	0.33	10	0.33
PCP	0.08	8	0.60	7	0.53	8	0.60
PIP	0.12	10	1.17	10	1.17	10	1.17
PRI	0.12	10	1.17	10	1.17	10	1.17
Puntuación			8.36		8.53		8.53

Tabla 2-48 Matriz de decisión para el SAP

2.7.5. Sistema de interacción con el usuario (SIU)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de interacción con el usuario se presentan en la Tabla 2-49.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR

Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Proporcione impresiones de alta calidad	Calidad de imagen	4	IAC
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI
Que la presión se ajuste con precisión	Controlar la presión de impresión	4	PAP
La operación de ejercer la presión sea automática	Movimiento automático	4	OPA
Que se pueda imprimir de forma uniforme	Controlar la presión de impresión	4	IFU

Tabla 2-49.- Requerimientos para el Sistema de interacción con el usuario (SIU)

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de interfaz con el usuario se presenta en la Tabla 2-50.

	COM	ING	LIG	ECO	DES	POR	EFI	MEH
COM		1	1	1	1	0	0	0
ING	0		1	1	1	0	0	0
LIG	0	0		1	0	0	0	0
ECO	0	0	0		0	0	0	0
DES	0	0	1	1		0	0	0
POR	1	1	1	1	1		0	0
EFI	1	1	1	1	1	1		0
MEH	1	1	1	1	1	1	1	
RPC	0	0	0	0	0	0	0	0
IAC	0	1	1	1	1	0	0	0
PRI	1	1	1	1	1	1	1	0
PAP	0	1	1	1	1	0	0	0
OPA	0	1	1	1	1	0	0	0
IFU	0	1	1	1	1	0	0	0

Tabla 2-50 Factor de peso para el SIU

	RPC	IAC	PRI	PAP	OPA	IFU	Suma	Factor de peso
COM	1	1	0	1	1	1	9	0,10
ING	1	0	0	0	0	0	4	0,04
LIG	1	0	0	0	0	0	2	0,02
ECO	1	0	0	0	0	0	1	0,01
DES	1	0	0	0	0	0	3	0,03
POR	1	1	0	1	1	1	10	0,11
EFI	1	1	0	1	1	1	11	0,12
MEH	1	1	1	1	1	1	13	0,14
RPC		0	0	0	0	0	0	0,00
IAC	1		0	0	0	0	5	0,05
PRI	1	1		0	0	0	9	0,10
PAP	1	1	1		1	0	8	0,09
OPA	1	1	1	0		0	7	0,08
IFU	1	1	1	1	1		9	0,10
						Total	91	1,00

Tabla 2-50 cont. Factor de peso para el SIU

Matriz de decisión

La matriz de decisión obtenida para el sistema de interfaz con el usuario se presenta en la Tabla 2-51. Se observa que la propuesta con mayor puntaje es la alternativa 5, uso de ordenador, por lo que es la opción ganadora.

Requerimiento	Factor de peso	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5					
											
COM	0.10	7	0.69	9	0.89	7	0.69	10	0.99	10	0.99
ING	0.04	10	0.44	10	0.44	10	0.44	10	0.44	10	0.44
LIG	0.02	10	0.22	10	0.22	10	0.22	10	0.22	10	0.22
ECO	0.01	8	0.09	7	0.08	8	0.09	6	0.07	7	0.08
DES	0.03	8	0.26	8	0.26	9	0.30	10	0.33	10	0.33
POR	0.11	7	0.77	7	0.77	9	0.99	10	1.10	10	1.10
EFI	0.12	8	0.97	9	1.09	9	1.09	6	0.73	6	0.73
MEH	0.14	10	1.43	10	1.43	10	1.43	10	1.43	10	1.43
RPC	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00
IAC	0.05	10	0.55	10	0.55	10	0.55	10	0.55	10	0.55
PRI	0.10	10	0.99	10	0.99	10	0.99	10	0.99	10	0.99
PAP	0.09	7	0.62	8	0.70	7	0.62	10	0.88	10	0.88
OPA	0.08	10	0.77	10	0.77	10	0.77	10	0.77	10	0.77
IFU	0.10	10	0.99	10	0.99	10	0.99	10	0.99	10	0.99

Puntuación		8.78	9.18	9.15	9.47	9.48
-------------------	--	------	------	------	------	-------------

Tabla 2-51 Matriz de decisión para el SIU

2.7.6.Sistema de desplazamiento (SDA)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de desplazamiento se presentan en la Tabla 2-52.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5	INS
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
No perder su carácter artístico – artesanal	Permitir el ingreso de materiales experimentales por el artista	5	ART
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Proporcione impresiones de alta calidad	Calidad de imagen	4	IAC
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI

Tabla 2-52.- Requerimientos para el Sistema de desplazamiento (SDA)

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de desplazamiento se presenta en la Tabla 2-53.

	COM	ING	LIG	ECO	DES	INS	POR
COM		1	1	1	1	0	0
ING	0		1	1	1	0	0
LIG	0	0		1	0	0	0
ECO	0	0	0		0	0	0
DES	0	0	1	1		0	0
INS	1	1	1	1	1		1
POR	1	1	1	1	1	0	
EFI	1	1	1	1	1	1	1
ART	1	1	1	1	1	1	1
MEH	1	1	1	1	1	1	1
RPC	0	0	0	0	0	0	0
IAC	0	1	1	1	1	0	0
PRI	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 2-53 Factor de peso del SDA

	EFI	ART	MEH	RPC	IAC	PRI	Suma	Factor de peso
COM	0	0	0	1	1	0	6	0,08
ING	0	0	0	1	0	0	4	0,05
LIG	0	0	0	1	0	0	2	0,03
ECO	0	0	0	1	0	0	1	0,01
DES	0	0	0	1	0	0	3	0,04
INS	0	0	0	1	1	0	8	0,10
POR	0	0	0	1	1	0	7	0,09
EFI		0	0	1	1	0	9	0,12
ART	1		1	1	1	1	12	0,15
MEH	1	0		1	1	1	11	0,14
RPC	0	0	0		0	0	0	0,00
IAC	0	0	0	1		0	5	0,06
PRI	1	0	0	1	1		10	0,13
						Total	78	1,00

Tabla 2-53 cont. Factor de peso del SDA

Matriz de decisión

La matriz de decisión obtenida para el sistema de soporte de desplazamiento se presenta en la Tabla 2-54. Se observa que la propuesta con mayor puntaje es la

alternativa 1, donde el rodillo inferior genera el desplazamiento, por lo que es la opción ganadora.

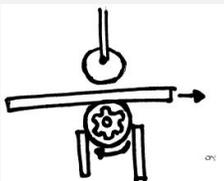
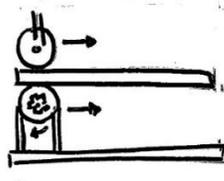
Requerimiento	Factor de peso	Alternativa 1		Alternativa2	
					
COM	0.08	6	0.46	6	0.46
ING	0.05	6	0.31	7	0.36
LIG	0.03	6	0.15	6	0.15
ECO	0.01	7	0.09	6	0.08
DES	0.04	5	0.19	5	0.19
INS	0.10	8	0.82	7	0.72
POR	0.09	6	0.54	6	0.54
EFI	0.12	7	0.81	7	0.81
ART	0.15	9	1.38	9	1.38
MEH	0.14	8	1.13	8	1.13
RPC	0.00	8	0.00	8	0.00
IAC	0.06	9	0.58	9	0.58
PRI	0.13	9	1.15	9	1.15
Puntuación			7.62		7.55

Tabla 2-54 Matriz de decisión para el SDA

2.7.7. Sistema de aplicación de presión (SP)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de presión se presentan en la Tabla 2-55.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING
Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5	INS

Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
No perder su carácter artístico – artesanal	Permitir el ingreso de materiales experimentales por el artista	5	ART
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Proporcione impresiones de alta calidad	Calidad de imagen	4	IAC
Tamaño mínimo de tabla para imprimir	20 x 30 [cm]	2	MIT
Tamaño máximo de tabla para imprimir	120 x 300 [cm]	3	MAT
Máximo grosor de la matriz	30 [cm]	3	MGO
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI
Que la presión se ajuste con precisión	Controlar la presión de impresión	4	PAP
La operación de ejercer la presión sea automática	Movimiento automático	4	OPA
Que se pueda imprimir de forma uniforme	Controlar la presión de impresión	4	IFU

Tabla 2-55 Requerimientos para el Sistema de aplicación de presión (SP)

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de presión se presenta en la Tabla 2-56. Tabla 2-38

	COM	ING	LIG	ECO	DES	INS	POR	EFI	ART	MEH	RPC
COM	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ING	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIG	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ECO	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
DES	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0

INS	1	1	1	1	1		1	0	0	0	1
POR	1	1	1	1	1	0		0	0	0	1
EFI	1	1	1	1	1	1	1		0	0	1
ART	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
MEH	1	1	1	1	1	1	1	1	0		1
RPC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IAC	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
MIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAT	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
MGO	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
PRI	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
PAP	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
OPA	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
IFU	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1

Tabla 2-56 Factor de peso del SP

	IAC	MIT	MAT	MGO	PRI	PAP	OPA	IFU	Suma	Factor de peso
COM	1	1	1	1	0	1	1	1	12	0,07
ING	0	1	1	1	0	0	0	0	7	0,04
LIG	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0,02
ECO	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0,01
DES	0	1	1	1	0	0	0	0	6	0,04
INS	1	1	1	1	0	1	1	1	14	0,08
POR	1	1	1	1	0	1	1	1	13	0,08
EFI	1	1	1	1	0	1	1	1	15	0,09
ART	1	1	1	1	1	1	1	1	18	0,11
MEH	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,10
RPC	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,01
IAC		1	1	1	0	0	0	0	8	0,05
MIT	0		0	0	0	0	0	0	0	0,00
MAT	0	1		1	0	0	0	0	5	0,03
MGO	0	1	0		0	0	0	0	4	0,02
PRI	1	1	1	1		0	0	0	13	0,08
PAP	1	1	1	1	1		1	0	11	0,06
OPA	1	1	1	1	1	0		0	10	0,06
IFU	1	1	1	1	1	1	1		12	0,07
								Total	171	1

Tabla 2-56 cont. Factor de peso del SP

Matriz de decisión

La matriz de decisión obtenida para el sistema de presión de desplazamiento se presenta en la Tabla 2-57. Se observa que la propuesta con mayor puntaje es la alternativa 1, presión ejercida entre dos rodillos metálicos, por lo que es la opción ganadora.

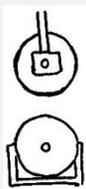
Requerimiento	Factor de peso	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
							
COM	0.07	6	0.42	6	0.42	6	0.42
ING	0.04	7	0.29	7	0.29	7	0.29
LIG	0.02	7	0.12	7	0.12	8	0.14
ECO	0.01	8	0.09	8	0.09	4	0.05
DES	0.04	7	0.25	6	0.21	7	0.25
INS	0.08	7	0.57	7	0.57	7	0.57
POR	0.08	7	0.53	6	0.46	7	0.53
EFI	0.09	8	0.70	7	0.61	8	0.70
ART	0.11	9	0.95	9	0.95	9	0.95
MEH	0.10	7	0.70	6	0.60	7	0.70
RPC	0.01	7	0.04	7	0.04	7	0.04
IAC	0.05	9	0.42	8	0.37	9	0.42
MIT	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00
MAT	0.03	10	0.29	10	0.29	10	0.29
MGO	0.02	10	0.23	10	0.23	10	0.23
PRI	0.08	7	0.53	8	0.61	7	0.53
PAP	0.06	8	0.51	7	0.45	8	0.51
OPA	0.06	7	0.41	8	0.47	7	0.41
IFU	0.07	8	0.56	8	0.56	8	0.56
Puntuación			7.63		7.35		7.60

Tabla 2-57 Matriz de decisión para el SP

2.7.8. Sistema de control de presión (SCP)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de control de presión se presentan en la Tabla 2-58.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING

Ligero	Peso menor a 300 [kg]	3	LIG
Económico	Precio menor a los \$25,000	2	ECO
Que se pueda desplazarlo de un lugar a otro si es necesario	No instalaciones fijas	4	DES
Que se pueda instalar en cualquier habitación	Sin instalaciones especiales	5	INS
Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
No perder su carácter artístico – artesanal	Permitir el ingreso de materiales experimentales por el artista	5	ART
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Proporcione impresiones de alta calidad	Calidad de imagen	4	IAC
Tamaño mínimo de tabla para imprimir	20 x 30 [cm]	2	MIT
Tamaño máximo de tabla para imprimir	120 x 300 [cm]	3	MAT
Máximo grosor de la matriz	30 [cm]	3	MGO
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI
Que la presión se ajuste con precisión	Controlar la presión de impresión	4	PAP
La operación de ejercer la presión sea automática	Movimiento automático	4	OPA
Que se pueda imprimir de forma uniforme	Controlar la presión de impresión	4	IFU

Tabla 2-58 Requerimientos para el Sistema de control de presión (SCP)

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de control de presión se presenta en la Tabla 2-59.

	COM	ING	LIG	ECO	DES	INS	POR	EFI	ART	MEH	RPC
COM		1	1	1	1	0	0	0	0	0	1

ING	0		1	1	1	0	0	0	0	0	1
LIG	0	0		1	0	0	0	0	0	0	1
ECO	0	0	0		0	0	0	0	0	0	1
DES	0	0	1	1		0	0	0	0	0	1
INS	1	1	1	1	1		1	0	0	0	1
POR	1	1	1	1	1	0		0	0	0	1
EFI	1	1	1	1	1	1	1		0	0	1
ART	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
MEH	1	1	1	1	1	1	1	1	0		1
RPC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IAC	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
MIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAT	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
MGO	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
PRI	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
PAP	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
OPA	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
IFU	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1

Tabla 2-59.- Factor de peso del SCP

	IAC	MIT	MAT	MGO	PRI	PAP	OPA	IFU	Suma	Factor de peso
COM	1	1	1	1	0	1	1	1	12	0,07
ING	0	1	1	1	0	0	0	0	7	0,04
LIG	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0,02
ECO	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0,01
DES	0	1	1	1	0	0	0	0	6	0,04
INS	1	1	1	1	0	1	1	1	14	0,08
POR	1	1	1	1	0	1	1	1	13	0,08
EFI	1	1	1	1	0	1	1	1	15	0,09
ART	1	1	1	1	1	1	1	1	18	0,11
MEH	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,10
RPC	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,01
IAC		1	1	1	0	0	0	0	8	0,05
MIT	0		0	0	0	0	0	0	0	0,00
MAT	0	1		1	0	0	0	0	5	0,03
MGO	0	1	0		0	0	0	0	4	0,02
PRI	1	1	1	1		0	0	0	13	0,08
PAP	1	1	1	1	1		1	0	11	0,06
OPA	1	1	1	1	1	0		0	10	0,06
IFU	1	1	1	1	1	1	1		12	0,07
								Total	171	1

Tabla 2-59 cont. Factor de peso del SCP

Matriz de decisión

La matriz de decisión obtenida para el sistema de soporte de control de presión se presenta en la Tabla 2-60 Tabla 2-54. Se observa que la propuesta con mayor puntaje es la alternativa 1, precisión con dos motores a pasos, por lo que es la opción ganadora.

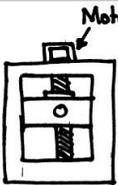
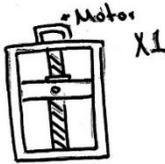
Requerimiento	Factor de peso	Alternativa 1		Alternativa2	
					
COM	0.07	9	0.63	10	0.70
ING	0.04	10	0.41	10	0.41
LIG	0.02	8	0.14	9	0.16
ECO	0.01	7	0.08	8	0.09
DES	0.04	8	0.28	8	0.28
INS	0.08	10	0.82	10	0.82
POR	0.08	7	0.53	8	0.61
EFI	0.09	10	0.88	10	0.88
ART	0.11	10	1.05	10	1.05
MEH	0.10	10	0.99	10	0.99
RPC	0.01	8	0.05	7	0.04
IAC	0.05	10	0.47	10	0.47
MIT	0.00	10	0.00	10	0.00
MAT	0.03	10	0.29	10	0.29
MGO	0.02	10	0.23	10	0.23
PRI	0.08	10	0.76	10	0.76
PAP	0.06	10	0.64	8	0.51
OPA	0.06	10	0.58	10	0.58
IFU	0.07	10	0.70	8	0.56
Puntuación			9.55		9.45

Tabla 2-60 Matriz de decisión para el SCP

2.7.9. Sistema de visualización (SV)

Los criterios con los que se evalúa el sistema de apoyo para la colocación del papel de visualización se presentan en la Tabla 2-61.

Criterio	Especificación	Importancia	Abreviación
Que sea compacto	Uso eficiente el espacio necesario para la instalación	5	COM
Capaz de ingresar de forma sencilla a cualquier habitación	Fácil armado	4	ING

Que sea portátil	Fácil desmontaje	5	POR
Eficiencia en la producción de piezas artísticas	Realizar 2 impresiones por minuto	5	EFI
Emplear el menor esfuerzo humano	Proceso semi-automático	5	MEH
Realizar una producción constante	Poder realizar mínimo 35 impresiones al día	2	RPC
Proporcione impresiones de alta calidad	Calidad de imagen de impresión	4	IAC
Número de personas para poder realizar una impresión	1 persona	5	PRI
Que la presión se ajuste con precisión	Controlar la presión de impresión	4	PAP
La operación de ejercer la presión sea automática	Movimiento automático	4	OPA
Que se pueda imprimir de forma uniforme	Controlar la presión de impresión	4	IFU

Tabla 2-61 Requerimientos de Sistema de visualización (SV)

Factor de peso

El factor de peso obtenido para cada criterio del sistema de visualización se presenta en la Tabla 2-62.

	COM	ING	POR	EFI	MEH	RPC	IAC
COM		1	0	0	0	1	1
ING	0		0	0	0	1	0
POR	1	1		0	0	1	1
EFI	1	1	1		0	1	1
MEH	1	1	1	1		1	1
RPC	0	0	0	0	0		0
IAC	0	1	0	0	0	1	
PRI	1	1	1	1	0	1	1
PAP	0	1	0	0	0	1	1
OPA	0	1	0	0	0	1	1
IFU	0	1	0	0	0	1	1

Tabla 2-62 Factor de peso del SV

	PRI	PAP	OPA	IFU	Suma	Factor de peso
COM	0	1	1	1	7	0.11
ING	0	0	0	0	1	0.02
POR	0	1	1	1	8	0.13
EFI	0	1	1	1	9	0.15

MEH	1	1	1	1	10	0.18
RPC	0	0	0	0	0	0.00
IAC	0	0	0	0	2	0.04
PRI		0	0	0	7	0.11
PAP	1		1	0	6	0.09
OPA	1	0		0	5	0.07
IFU	1	1	1		7	0.11
				Total	66	1.00

Tabla 2-62 cont. Factor de peso del SV

Matriz de decisión

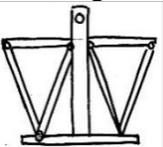
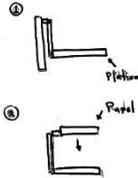
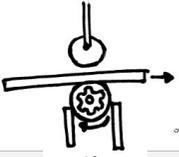
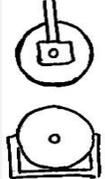
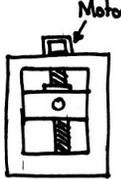
La matriz de decisión obtenida para el sistema de visualización se presenta en la Tabla 2-63. Con base en la Tabla 2-63 la propuesta 3, sistema de visualización a través de un dispositivo móvil, y la propuesta 4, visualización mediante un ordenador, son las alternativas ganadoras al obtener el máximo puntaje de la matriz de decisión. Para el sistema de visualización se seleccionó el uso de un ordenador ya que este también es la alternativa ganadora para el sistema de interfaz con el usuario.

		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4	
Requerimiento	Factor de peso								
COM	0.11	10	1.09	10	1.09	10	1.09	10	1.09
ING	0.02	10	0.18	10	0.18	10	0.18	10	0.18
POR	0.13	9	1.15	9	1.15	10	1.27	10	1.27
EFI	0.15	10	1.45	10	1.45	10	1.45	10	1.45
MEH	0.18	10	1.82	10	1.82	10	1.82	10	1.82
RPC	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00	10	0.00
IAC	0.04	10	0.36	10	0.36	10	0.36	10	0.36
PRI	0.11	10	1.09	10	1.09	10	1.09	10	1.09
PAP	0.09	9	0.82	10	0.91	10	0.91	10	0.91
OPA	0.07	10	0.73	10	0.73	10	0.73	10	0.73
IFU	0.11	9	0.98	10	1.09	10	1.09	10	1.09
Puntuación			9.67		9.87		10.00		10.00

Tabla 2-63 Matriz de decisión para el SV

2.8. Tercera propuesta de configuración

Se conjuntaron las alternativas de solución con mayor puntaje para cada sistema de la sección 2.7, Las alternativas ganadoras de cada sistema con su puntaje se muestran en la Tabla 2-64.

Sistema	Alternativa ganadora	Puntaje
Sistema estructural		7.69
Sistema de soporte matriz		7.22
Sistema de precisión para la colocación de papel		9.09
Sistema de apoyo para la colocación del papel		8.53
Sistema de interacción con el usuario		9.48
Sistema de desplazamiento		7.62
Sistema de aplicación de presión		7.63
Sistema de control de precisión		9.55

Sistema de visualización		10
--------------------------	---	----

Tabla 2-64 Opciones ganadoras de cada sistema

Se discutieron las alternativas ganadoras con el usuario y se determinó que el sistema de apoyo para la colocación de papel debe ser independiente de la máquina final, ya que esto les da a los artistas la posibilidad de adquirir una máquina más económica en caso de tener una persona que les ayude en la manipulación de tamaños grandes de papel.

El sistema de visualización y el sistema de interacción con el usuario están definidos por la misma alternativa de solución por lo que se conjuntan en un módulo al que se llamó de control y visualización. Por lo que para la tercera propuesta de configuración se separó el diseño en tres módulos.

Los tres módulos se presentan en la Figura 2-24, el módulo de control y visualización se encarga de la interacción con el usuario, el usuario puede ingresar y visualizar la información de la separación entre rodillos y controlar esta variable a sus preferencias por medio de un software. El sistema de colocación de a papel se propuso como un módulo totalmente independiente del conjunto principal.

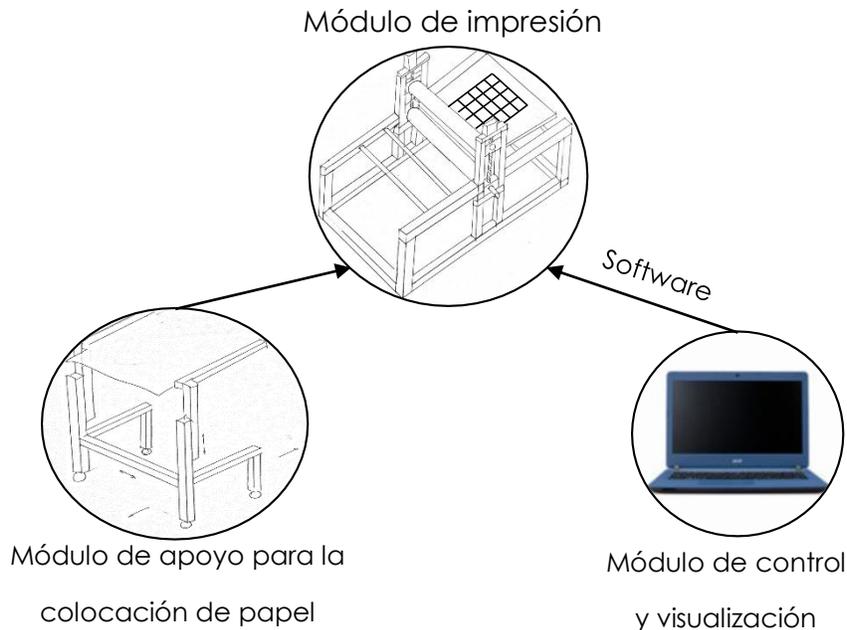


Figura 2-24 Tercera propuesta de configuración

El módulo de impresión se presenta en la Figura 2-25 con las alternativas de solución indicadas.

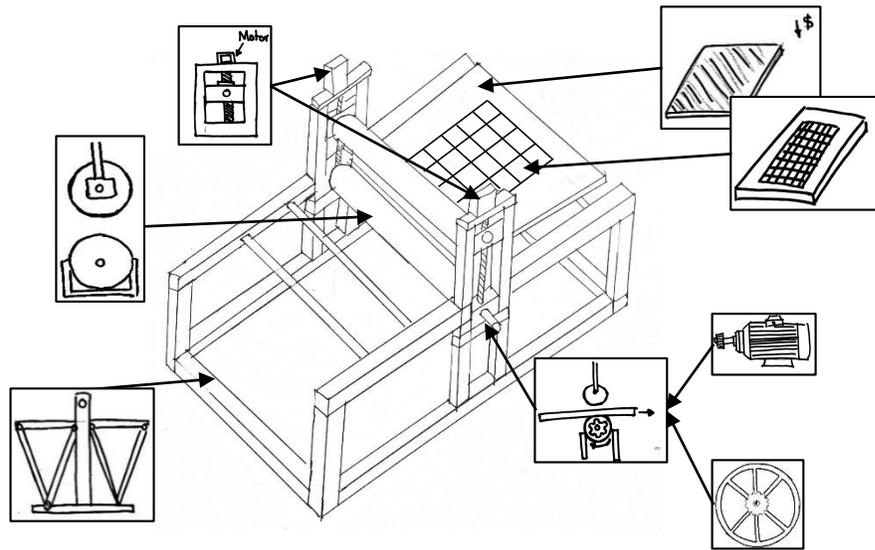


Figura 2-25 Módulo de impresión

El módulo de apoyo para la colocación de papel se presenta en la Figura 2-26, este módulo está diseñado para apoyar al usuario cuando trabaje con tamaños grandes de papel, debe permitir su desplazamiento para colocarse en la mejor posición de apoyo y además poderse cambiar su altura y su ancho para adaptarse a cualquier tamaño de papel.

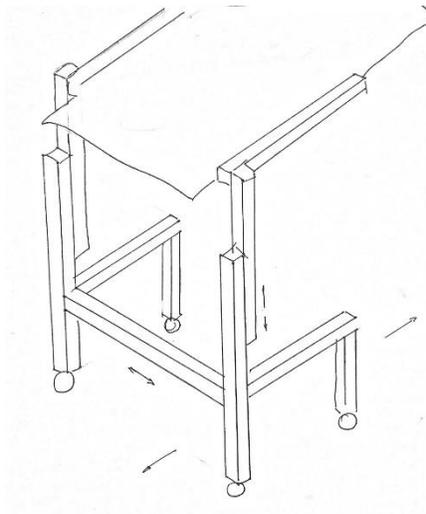


Figura 2-26 Módulo de apoyo para la colocación del papel

Observaciones y comentarios de la tercera propuesta de configuración.

La tercera propuesta de configuración tiene mayores ventajas que las dos anteriores, entre ellas están: la reducción del costo total al separar los elementos en módulos, darle la posibilidad al usuario de adquirir el módulo de apoyo de colocación de papel si este no cuenta con ayuda de otra persona en su taller, además de poder usar su ordenador personal o teléfono inteligente para controlar la máquina. Por lo que es la seleccionada para realizar el proceso de diseño a detalle.

En común acuerdo con el usuario se concluyó que los módulos más importantes para este proyecto son el de impresión y de control, y se definió el módulo de apoyo para la colocación del papel como un producto distinto a la máquina de impresiones artísticas, por lo que el diseño a detalle se enfoca únicamente en los módulos de impresión y de control.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE DETALLE

3.1. El elemento crítico, sistema de aplicación de presión

El elemento crítico de la máquina para la realización de impresiones artísticas se encuentra en el sistema de aplicación de presión por lo cual esta sección está destinada a mostrar el procedimiento seguido para caracterizar este sistema.

Se definió, con base en la etapa de diseño conceptual, que el sistema de presión es conformado por dos rodillos, entre los rodillos se ingresa la matriz de impresión o grabado y esta experimenta un proceso de deformación parecido al que se presenta durante un proceso de laminación en frío, por lo que se utilizó la base teórica del proceso de laminación para determinar la carga máxima que deben soportar los rodillos.

Es por eso que en esta sección se presentan primero los antecedentes del proceso de laminación, se explica cómo se usó esta teoría para definir la carga máxima que se aplica entre los rodillos, con base en la carga máxima como criterio de diseño se definieron tanto las dimensiones de los rodillos y el material con el que deben ser fabricados y finalmente se seleccionaron los rodamientos para sostener los rodillos.

3.1.1. Antecedentes del proceso de laminación

Para el análisis de esfuerzos y fuerzas que se producen durante el proceso de impresión de obras artísticas es necesario conocer la base teórica del proceso de laminación, la cual se presenta en esta sección.

En la Figura 3-1 se presenta un diagrama del proceso de laminación, donde se observa como una placa metálica se deforma al pasar entre dos rodillos con una apertura menor al espesor de la placa. Este mismo fenómeno se presenta al realizar impresiones artísticas con grabados en relieve y sobretodo con matrices metálicas y las técnicas de huecograbado.

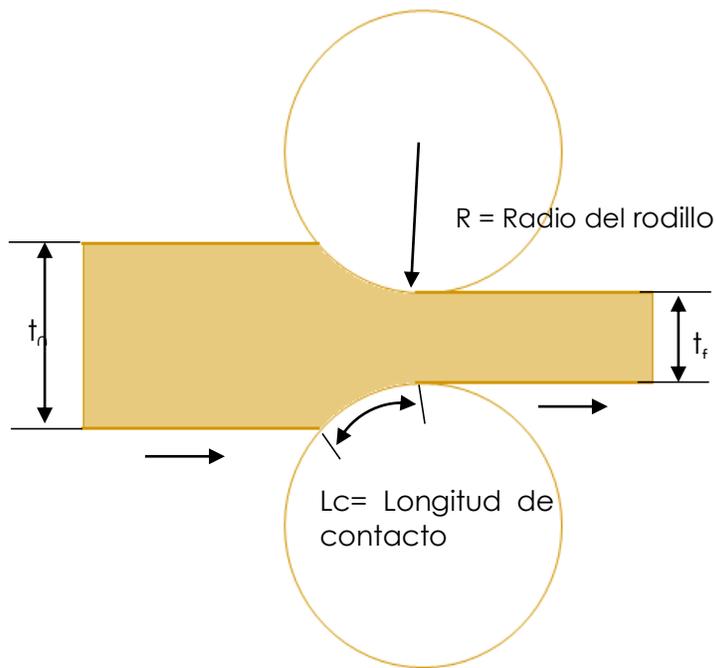


Figura 3-1 Proceso de laminado

La fuerza ejercida sobre los rodillos está definida por la ecuación (1), donde \bar{Y}_f es el esfuerzo de fluencia promedio del material, debido a al fenómeno de endurecimiento por deformación; w es el ancho del material y L_c la longitud de contacto con el rodillo.

$$F = \bar{Y}_f w L_c \quad (1)$$

La longitud de contacto está en función de la reducción del espesor del material y se obtiene con la ecuación (2), donde R es el radio del rodillo, t_0 es el espesor inicial y t_f el espesor final.

$$L_c = \sqrt{R(t_0 - t_f)} \quad (2)$$

El esfuerzo de fluencia promedio se calcula con la ecuación (3), Donde el coeficiente de resistencia a la deformación K y el exponente de endurecimiento por deformación n son valores constantes que dependen de las propiedades del material. El valor de la deformación verdadera ϵ se obtiene con la ecuación (4).

$$\bar{Y}_f = \frac{K \epsilon^n}{1 + n} \quad (3)$$

$$\epsilon = \ln \frac{t_0}{t_f} \quad (4)$$

El momento de torsión en laminado se puede estimar suponiendo que la fuerza ejercida por los rodillos se centra en el trabajo, conforme pasa entre ellos y actúa con un brazo de palanca de la mitad de longitud de contacto L_c . Entonces, el momento de torsión para cada rodillo se muestra en la ecuación (5).

$$T = 0.5 F L_c \quad (5)$$

La potencia requerida para mover cada rodillo es el producto del momento de torsión y la velocidad angular. La velocidad angular es N revoluciones por minuto, por lo que para transformar en radianes por segundo queda como $2\pi N/60$. Por lo que la potencia en cada rodillo es $2\pi NT/60$. Al sustituir el valor de la ecuación (5) en la expresión para la potencia de la ecuación (6), y al duplicar el valor, dado que se poseen dos rodillos se obtiene la ecuación (7) para determinar la potencia requerida en el proceso de laminado.

$$P = \frac{2\pi NT}{60} \quad (6)$$

$$P = \frac{2\pi N F L_c}{60} \quad (7)$$

3.1.2. Análisis de ingeniería para el proceso de impresiones artísticas

La impresión artística con las técnicas de grabado, como ya se ha mencionado, se realizan al aplicar presión con dos rodillos. Con la base teórica de laminación se determinó que la fuerza de impresión se debe al proceso de deformación que sufre material de la matriz al pasar entre los rodillos. Esta fuerza se distribuye a lo largo de los rodillos como se muestra en la Figura 3-2. Para diseñar los rodillos de impresión se requirió conocer el valor máximo de la fuerza distribuida.

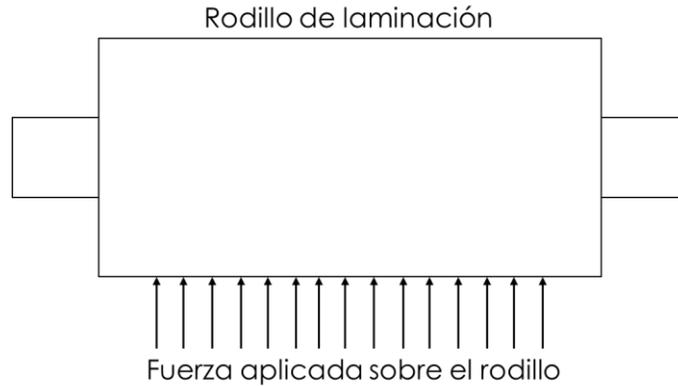


Figura 3-2 Forma de las fuerza aplicada sobre el rodillo

Como las ecuaciones de laminación se ocupan únicamente para metales no se pueden utilizar para determinar la fuerza ejercida sobre los grabados en relieve, sin embargo, con base en la experiencia y conocimiento empírico de los artistas expertos se definió que una tercera parte de la fuerza requerida para imprimir los grabados en matriz metálica es suficiente para obtener una estampa de calidad con un grabado en relieve.

Para determinar la fuerza distribuida que se aplica sobre los rodillos y en consecuencia sobre la impresión a realizar, se tomó de referencia el radio del rodillo del modelo comercial mostrado en la Figura 1-13 y para el ancho máximo del material se utilizó el tamaño de matriz metálica más utilizado por los artistas, estas dimensiones se presentan en la Tabla 3-1.

Elemento	Valor
Radio del rodillo ®	107.5 [mm]
Ancho máximo del material con el que se realiza la impresión	600 [mm]

Tabla 3-1 Dimensiones del rodillo de laminación y ancho máximo del material

Formas para obtener la fuerza distribuida máxima sobre los rodillos de impresión

En el capítulo I se mencionó que la presión máxima que los rodillos deben de soportar es de 5,000 kgf/cm², lo que en el sistema internacional es igual a 490. 3325 MPa. Este valor de presión máxima se utiliza para el proceso de impresiones calcográficas con matrices de metal, por lo que para determinar la máxima fuerza distribuida sobre los rodillos se utilizan el aluminio como material base para la realización de los cálculos, el aluminio es el material más utilizado para el proceso de impresiones calcográficas.

Se calculó el valor de la fuerza máxima utilizando el dato de presión máxima que ejercen los rodillos reportado en la literatura y también se obtuvo el valor la fuerza máxima que es posible ejercer sobre los rodillos desde la perspectiva de la deformación del material debido al proceso de laminación en frío.

Cálculo de la fuerza máxima aplicada sobre los rodillos utilizando el valor de presión máxima.

Como bien se sabe, la presión es la relación entre la fuerza ejercida sobre área, como se muestra en la ecuación (8). Para este caso, se cuenta con el valor de la presión máxima y el área sobre la cual se aplica la fuerza es la superficie de contacto entre la matriz y el rodillo superior, por lo que para calcular el área se utiliza la ecuación (9).

$$P_r = \frac{F}{A} \quad (8)$$

$$A = w \left(\sqrt{R(t_0 - t_f)} \right) \quad (9)$$

La ecuación(9) es el producto del ancho del material por la longitud de contacto entre la matriz y el rodillo superior. Sustituyendo la ecuación (9) en la ecuación (8) y despejando el valor de la fuerza aplicada sobre los rodillos se obtiene la ecuación (10).

$$F = P_r w \left(\sqrt{R(t_0 - t_f)} \right) \quad (10)$$

Se propuso un cambio de espesor de la placa metálica de 0.1 [mm] y sustituyendo valores en la ecuación (10)

$$F = (490.3325 \times 10^6 [Pa]) (0.6 [m]) \left(\sqrt{107.5 \times 10^{-3} [m] (0.1 \times 10^{-3} [m])} \right) = 964597.5676 [N]$$

Se obtuvo que la fuerza máxima aplicada sobre los rodillos de impresión es de 964.5975 [kN].

Con las ecuaciones (5) y (7) se determinó el par requerido para mover los rodillos y la potencia necesaria. Como se requiere realizar dos impresiones por minuto la platina debe desplazarse a una velocidad de 6000 [mm/min] que es igual a 0.1 [m/s]. Por lo que los rodillos deben rotar a una velocidad de 0.9302 [rad/s].

$$T = 0.5 (964597.5676 [N]) (3.28 \times 10^{-3} [m]) = 1581.322 [Nm]$$

$$P = 0.9302 [rad/s] (964597.5676 [N]) (3.28 \times 10^{-3} [m]) = 2941.892 [W]$$

Con los valores obtenidos se observa que la potencia requerida es mucho mayor a la que pueden suministrar los modelos comerciales. Para poder mover los rodillos de forma manual se requeriría construir un volante de tracción de dimensión mayor a 1.5 metros de radio, medida aproximada del volante de los modelos comerciales más grandes.

Con base en la ecuación (10) se propuso un cambio de espesor de 0.01 [mm] para reducir la fuerza ejercida sobre los rodillo y el par y potencia requeridos. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3-12.

			Unidades
Cambio de espesor	0.1	0.01	mm
Longitud de Contacto	3.28	1.04	mm
Fuerza máxima	964597.568	305032.534	N
Par requerido	1581.322	158.132	N-m
Potencia en W	2941.892	294.189	W
Potencia en HP	3.9451	0.39451	HP

Tabla 3-2 Fuerza, Par, Potencia calculados con el criterio de presión máxima de 490 MPa

Se concluye que la presión máxima encontrado en la literatura no es un criterio adecuado para el diseño de la máquina, ya que los valores de fuerza, par y potencia máximos se asemejan a los encontrados en procesos industriales si no se tiene una alta precisión durante el cambio de espesor.

Al comparar la ecuación (10) con la ecuación (3) se observa que la presión que se ejerce entre los rodillos es igual al esfuerzo de fluencia del material que se somete al proceso de laminación. Para este caso el material con un esfuerzo de fluencia de 490[MPa] usado para matrices calcográficas podría ser acero inoxidable, sin embargo, este material no es usado para matrices calcográficas y es importante que los materiales para calcografía sean materiales blandos, una razón más para descartar este valor de presión máxima como criterio de diseño.

Cálculo de la fuerza máxima aplicada sobre los rodillos utilizando el criterio de deformación del material de la matriz calcográfica.

Entre el zinc, cobre y aluminio, materiales más usados en el proceso calcográfico, este último se utilizó como material base para calcular la fuerza máxima que deben soportar los rodillos por ser el que mayor fuerza requiere para deformarse.

Se calculó el esfuerzo de fluencia promedio para el trabajo en laminado del aluminio utilizando la ecuación (3), donde el valor del coeficiente de resistencia K es igual a 175 [MPa] y el valor del exponente de endurecimiento por deformación n es igual a 0.2 (Groover, 2007).

$$\bar{Y}_f = \frac{(175 \times 10^6) \left(\ln \frac{2.11}{2.01} \right)^{0.2}}{1 + 0.2} = 79.6343 [MPa]$$

Se sustituyeron los valores que se muestran en la Tabla 3-3, al igual que en la sección anterior se obtuvieron los valores de la fuerza, el par y la potencia requerida para

un cambio de espesor de 0.1 mm y 0.01mm. En este caso se utilizó la ecuación (1) para el cálculo de la fuerza en lugar de la (10).

Dato	Valor
Espesor inicial de matriz calibre 14	2.11 mm
Cambio de espesor	0.1mm
Espesor final de lamina	2.01

Tabla 3-3 Valores del cambio de espesor de una lámina de aluminio

$$F = (79.6343 \times 10^6)(600 \times 10^{-3})(3.2787 \times 10^{-3}) = 156658.27 [N]$$

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3-4.

			Unidades
Radio de rodillo	107.5	107.5	mm
Cambio de espesor	0.1	0.01	mm
Longitud de Contacto	3.28	1.04	mm
Fuerza máxima	156659.108	49539.960	N
Par requerido	256.821	25.682	N-m
Potencia	477.789	47.779	W

Tabla 3-4 Resultados del cálculo de fuerza máxima al usar el criterio de deformación del material

Para disminuir la fuerza ejercida sobre los rodillos se propuso reducir el radio del rodillo a 90 mm, de esta forma también se reduce el peso total de la máquina. El resultado de los cálculos con la nueva dimensión de radio se presenta en la Tabla 3-5.

			Unidades
Radio de rodillo	90	90	mm
Cambio de espesor	0.1	0.01	mm
Longitud de Contacto	3.00	0.95	mm
Fuerza máxima	143341.740	28476.004	N
Par requerido	215.013	13.507	N-m
Potencia	400.009	25.129	W

Tabla 3-5 Fuerza, Par, Potencia calculados con el criterio de deformación del material y radio de rodillo de 90 mm.

De la Tabla 3-5, con base en que a menor deformación y desgaste sufra la matriz mayor es su vida útil para el proceso de estampado, se seleccionó el valor de 28476.004 N como criterio de diseño de fuerza máxima que deben soportar los rodillos para realizar una impresión calcográfica. Por lo tanto, para la realización de

impresiones de grabados en relieve se requiere una tercera parte de la fuerza máxima obtenida.

De esta forma la fuerza máxima que deben soportar los rodillos de impresión para la realización de estampas con grabados en relieve es de 9492[N]. Como esta información se debe proporcionar la usuaria final, para los artistas es más fácil interpretar la carga máxima permisible por su equivalente en kilogramos. Por lo que se convirtieron las unidades.

$$kilogramos = \frac{9492[N]}{9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 967.584[kg]$$

Para simplificar la información de especificaciones que acompañan a la máquina diseñada se incrementó el límite de carga máxima entre los rodillos a 1000kg o 1 tonelada, siendo este valor más fácil de recordar por el usuario final.

Al reconvertir a Newton

$$Newtons = 1000[kg] * 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 9810[N]$$

Por lo que la carga límite de diseño para los rodillos de impresión es de 9810[N].

3.1.3. Selección de material para los rodillos de impresión.

Para seleccionar el material se siguió el procedimiento propuesto por Michael F. Ashby y se utilizó el software CES Edupack®. Este procedimiento consiste en definir la función del componente, las restricciones de diseño, los objetivos y las variables libres; con base en esta información se definen los índices de desempeño y con el software CES Edupack® se realiza la selección del material.

La función definida para los rodillos es el utilizarse como rodillos de presión para la impresión de obras artísticas de grabado en relieve. Las restricciones se describen en la Tabla 3-6. Con base en los requerimientos el objetivo de diseño es minimizar el peso y el costo de los rodillos; las variables libres de diseño son la selección de material y el radio de los rodillos. La información se agrupa en la Tabla 3-7.

Restricciones	Descripción	Especificación
Fuerza de compresión máxima	La fuerza de compresión máxima que deben soportar los rodillos.	9810[N]
Longitud de rodillo	El ancho máximo de tabla es de 1200 mm	1200[mm]
Masa de rodillo	Los rodillo no deben de tener un peso mayor a la mitad del peso total de la máquina.	< 75 [Kg]
Precio del material	El costo del material para los rodillos debe ser menor que una tercera parte del costo total.	< \$4166

Radio del rodillo	Radio máximo de los rodillos de impresión.	< 90 [mm]
-------------------	--	-----------

Tabla 3-6 Restricciones de diseño para la selección del material de los rodillos

Función	Rodillo de presión para la impresión de obras artísticas de grabado en relieve
Restricciones	Fuerza de compresión máxima 9810[N] Longitud de rodillo 1.3[m] Masa del rodillo < 75 [kg] Precio < \$4166 Radio < 90 [mm]
Objetivos	Minimizar el peso Minimizar el costo
Variables libres	Selección del material Radio del rodillo

Tabla 3-7 Tabla base para la selección del material

Cálculo de los índices de desempeño

Los índices de desempeño son una formulación matemática con base en el análisis físico del problema a solucionar. Donde la ecuación resultante queda de la forma mostrada en la ecuación (11). La variable objetivo, lo que se busca minimizar o maximizar, queda en función de tres parámetros importantes: Los requerimientos de funcionalidad, la geometría del elemento y las propiedades del material.

$$\text{Variable objetivo } (P_e) = \left[\left(\text{Requerimientos de funcionalidad} \right) \left(\text{Geometría del elemento} \right) \left(\text{Propiedades del material} \right) \right] \quad (11)$$

La relación que se obtiene de las propiedades del material es lo que se conoce como índice de desempeño. Se observa en la ecuación (11) que el índice de desempeño afecta directamente el valor de la variable objetivo por lo que la selección del material influye directamente en que tanto se puede incrementar o reducir el valor de la variable objetivo.

Para la selección del material de los rodillos de impresión se definieron dos variables objetivo, el minimizar el peso y minimizar el costo, por lo que se calcularon dos índices de desempeño.

Cálculo del primer índice de desempeño, variable objetivo: minimizar el peso.

Se buscó minimizar el peso de los rodillos por lo que la variable objetivo es minimizar la masa de los rodillos. En la ecuación (12) se presenta la relación de la masa en función de la densidad del material y el volumen.

$$m = \rho V \quad (12)$$

Para obtener el volumen del rodillo de impresión se utiliza la ecuación (13), donde r es el radio del rodillo y L el largo del mismo. Sustituyendo la ecuación (13) en la (11) se obtiene la ecuación (14).

$$V = \pi r^2 L \quad (13)$$

$$m = \rho \pi r^2 L \quad (14)$$

El rodillo de presión puede analizarse como una viga de sección transversal circular, sometida a una fuerza distribuida como se muestra en la Figura 3-3. La fuerza máxima está definida por la relación mostrada en la ecuación (15). Dónde: I = El segundo momento de área, y_m = la distancia perpendicular del eje neutro hacia la superficie de la viga, σ = Esfuerzo de falla, L = Longitud de la viga y $C = 16$. (Ashby, 2005).

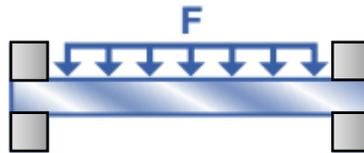


Figura 3-3 Diagrama de cuerpo libre de la distribución de fuerza sobre los rodillos de impresión

$$F = C \left(\frac{I}{y_m} \right) \left(\frac{\sigma}{L} \right) \quad (15)$$

La relación de I/y_m se define como el módulo de sección Z mostrado en la ecuación (16). Para una sección circular el módulo de sección Z es el mostrado en la ecuación (17). Sustituyendo la ecuación (17) en la (15) se obtiene la ecuación (18). Se despejó el valor del radio de la ecuación (18) obteniendo la ecuación (19). Sustituyendo a la ecuación (19) en la (14) se obtiene la ecuación (20).

$$Z = \frac{I}{y_m} \quad (16)$$

$$Z = \frac{\pi}{4} r^3 \quad (17)$$

$$F = C \left(\frac{\pi}{4} r^3 \right) \left(\frac{\sigma}{L} \right) \quad (18)$$

$$r = \left(\frac{4FL}{C\sigma\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (19)$$

$$m = \rho\pi L \left(\frac{4FL}{C\sigma\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (20)$$

Se reorganizó la ecuación (20) y se obtuvo la ecuación (21). Se observa que la ecuación (21) tiene una forma igual a la ecuación (11) por lo que la relación de las propiedades del material para modificar el valor de la variable objetivo es la mostrada en la ecuación (22).

$$m = \left(\frac{4F}{C} \right)^{\frac{2}{3}} \left(L^{\frac{5}{3}} \pi^{\frac{1}{3}} \right) \left(\frac{\rho}{\sigma^{\frac{2}{3}}} \right) \quad (21)$$

$$\left(\frac{\rho}{\sigma^{\frac{2}{3}}} \right) \quad (22)$$

Con base en la ecuación (21) se observa que para minimizar la masa de los rodillos la relación mostrada en la ecuación (22) debe ser lo más pequeña posible, por lo que el valor del recíproco de esta relación debe maximizarse. El recíproco de la relación de la ecuación (22) da como resultado el primer índice de desempeño, que se muestra en la ecuación (23).

$$M_1 = \frac{\sigma^{\frac{2}{3}}}{\rho} \quad (23)$$

Cálculo del segundo índice de desempeño, variable objetivo: minimizar el costo.

La variable objetivo para el segundo índice de desempeño es minimizar el costo del material. Para definir el segundo índice de desempeño se utilizó la relación del costo del material por kilogramo C_m , Por lo que para determinar el costo utiliza la relación presentada en la ecuación (24).

$$C_1 = mC_m \quad (24)$$

El valor de m para el rodillo de presión se presenta con la ecuación (14) por lo que al sustituir la ecuación (14) en la (24) se obtiene la relación del costo del material para el rodillo. Esta se presenta en la ecuación (25).

$$C_1 = \rho \pi r^2 L C_m \quad (25)$$

Al igual que para el cálculo del primer índice de desempeño la ecuación (19) se sustituye en la ecuación (25) y se obtiene la ecuación (26). Reacomodando los términos de la ecuación (26) se obtiene la ecuación (27). El razonamiento para obtener el primer índice de desempeño se aplicó para obtener el segundo índice de desempeño a partir de la ecuación (27) por lo que el segundo índice de desempeño es el presentado en la ecuación (28).

$$C_1 = \rho \pi L \left(\frac{4FL}{C \sigma \pi} \right)^{\frac{2}{3}} C_m \quad (26)$$

$$C_1 = \left(\frac{4F}{C} \right)^{\frac{2}{3}} \left(L^{\frac{5}{3}} \pi^{\frac{1}{3}} \right) \left(\frac{\rho C_m}{\sigma^{\frac{2}{3}}} \right) \quad (27)$$

$$M_2 = \frac{\sigma^{\frac{2}{3}}}{\rho C_m} \quad (28)$$

SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LOS RODILLOS CON CES EDUPACK®

El procedimiento realizado para la selección de material con el software de CES Edupack® consistió en utilizar los índices de desempeño obtenidos y la base de datos de propiedades mecánicas en nivel 2 para establecer dos primeros límites en la selección del material. Con los primeros dos límites ya establecidos se elevó la base de datos a nivel 3 y se prosiguió a establecer límites mínimos con base en las restricciones físicas presentadas en la Figura 3-6. Como criterio final se utilizó la disponibilidad de los materiales en la CDMX.

Criterio de selección con base en los índices de desempeño

El primer y segundo índice de desempeño mostrados en la ecuación (23) y (28) respectivamente, están en función de un esfuerzo de falla, para el caso de los rodillos de presión el esfuerzo de falla σ se definió como el esfuerzo de fluencia σ_y ya que los rodillos no deben deformarse plásticamente para asegurar una correcta impresión de una obra artista. Este cambio se presenta en las ecuaciones (29) y (30).

$$M_1 = \frac{\sigma_y^{\frac{2}{3}}}{\rho} \quad (29)$$

$$M_2 = \frac{\sigma_y^{\frac{2}{3}}}{\rho C_m} \quad (30)$$

Al tener dos índices de desempeño con diferentes relaciones, dentro del software se crearon dos gráficas de materiales que representan las relaciones de los índices de desempeño. La primera gráfica se nombró Relación A y presenta el esfuerzo de fluencia contra la densidad del material; la segunda gráfica se nombró Relación B y presenta el esfuerzo de fluencia contra el producto entre la densidad del material y el costo por kilogramos del mismo.

Relación A: σ_y Vs. ρ

La gráfica construida se presenta en la Figura 3-4 y se posicionó una línea guía con pendiente de 3/2 (1.5), como las gráficas del software tienen una distribución logarítmica la forma de obtener el valor de la pendiente con base en el primer índice de desempeño se presenta en el conjunto de ecuaciones 1.

La línea guía se posicionó seleccionando de referencia el acero inoxidable, con un índice de desempeño de $M_1 = 0.004[\text{MPa}/(\text{kg}/\text{m}^3)]$. El acero inoxidable es el material con el que los rodillos de las máquinas comerciales son comúnmente fabricados. Todos los materiales por encima de la línea guía son posibles candidatos por el criterio de maximizar el primer índice de desempeño.

$$\begin{aligned} \text{Log } M &= \text{Log } \frac{\sigma_y^{\frac{2}{3}}}{\rho} \\ \text{Log } M &= \text{Log } \left(\sigma_y^{\frac{2}{3}} \right) - \text{Log } \rho \\ \text{Log } \rho + \text{Log } M &= \frac{2}{3} \text{Log } (\sigma_y) \\ \text{Log } (\sigma_y) &= \frac{3}{2} \text{Log } \rho + \frac{3}{2} \text{Log } M \end{aligned}$$

Conjunto de ecuaciones 1

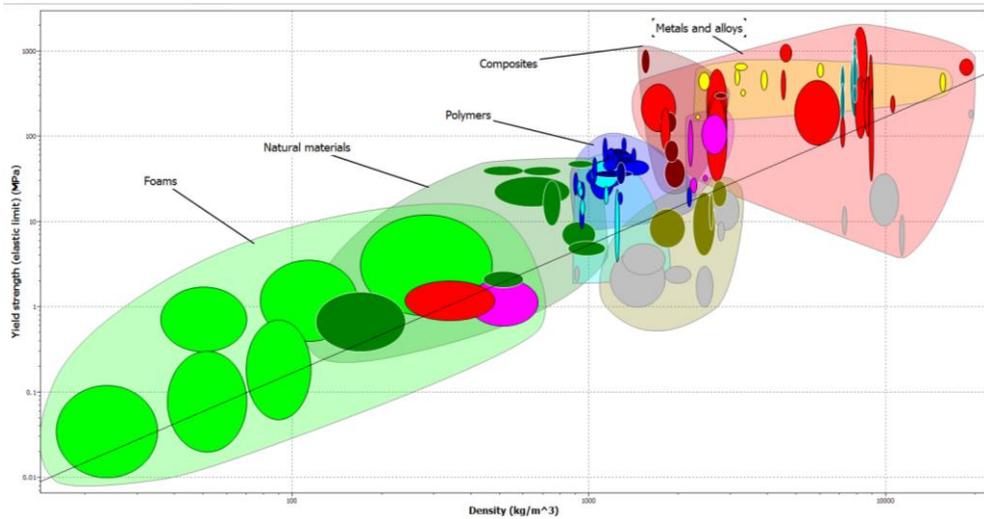


Figura 3-4 Gráfica de materiales de esfuerzo de cedencia contra densidad, Base de datos nivel 2

Relación B: σ_y Vs. ρC_m

En la Figura 3-5 se presenta la gráfica de la relación B, esta se construyó realizando el mismo procedimiento que en la gráfica de la relación A. La pendiente de la línea es igual a 3/2 (1.5) y el valor del índice de desempeño del acero inoxidable para este caso es de $M_2 = 5.15 \times 10^{-5} [\text{MPa}/(\$/\text{m}^3)]$.

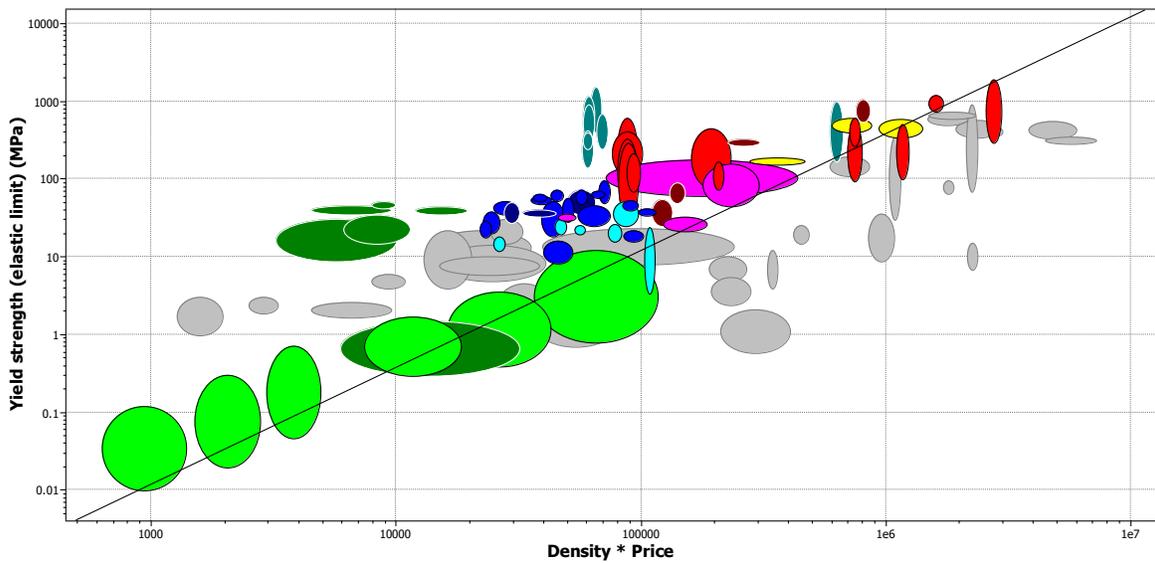


Figura 3-5 Gráfica de materiales de esfuerzo de cedencia contra densidad por precio, base de datos Nivel 2

Se observa en la Figura 3-5 que algunos materiales por encima de la línea guía se encuentran coloreados en gris, esto se debe a que el software permite el trabajo sincronizado entre las gráficas, esto significa que los materiales por encima de la

línea guía coloreados en gris no cumplen con el criterio del primer índice de desempeño.

Restricciones de diseño.

Con el criterio de falla de no sobrepasar el esfuerzo de fluencia del material la ecuación (18) se reescribe como la ecuación (31). Se despejó la variable del esfuerzo de cedencia y se obtuvo la ecuación (32). Con el radio máximo permisible para el rodillo, la longitud de este y la carga máxima se obtuvo el valor del esfuerzo mínimo de cedencia que debe cumplir el material para no deformarse,

$$F = C \left(\frac{\pi}{4} r^3 \right) \left(\frac{\sigma_y}{L} \right) \quad (31)$$

$$\sigma_y = \frac{4FL}{C\pi r^3} \quad (32)$$

$$\sigma_y = \frac{4(9810[N])(1.3[m])}{(16)\pi(0.09[m])^3} = 1.3921 \times 10^6 [Pa]$$

$$\sigma_y = 1.3921 [MPa]$$

Se calculó costo máximo por kilogramo del material utilizando la ecuación (33) y sustituyendo los valores de las restricciones de diseño.

$$C_m = \frac{\$}{kg} \quad (33)$$

$$C_m = \frac{\$}{kg} = \frac{\$4166}{75[kg]} = 55.54 \left[\frac{\$}{kg} \right]$$

Se incrementó la base de datos de nivel 2 a nivel 3 y se establecieron nuevos límites de selección el valor de esfuerzo de cedencia mínimo y costo máximo. Las gráficas obtenidas de la relación A y B se presentan en la Figura 3-6. Los materiales que no cumplen con los 4 criterios establecidos hasta este punto se ocultaron.

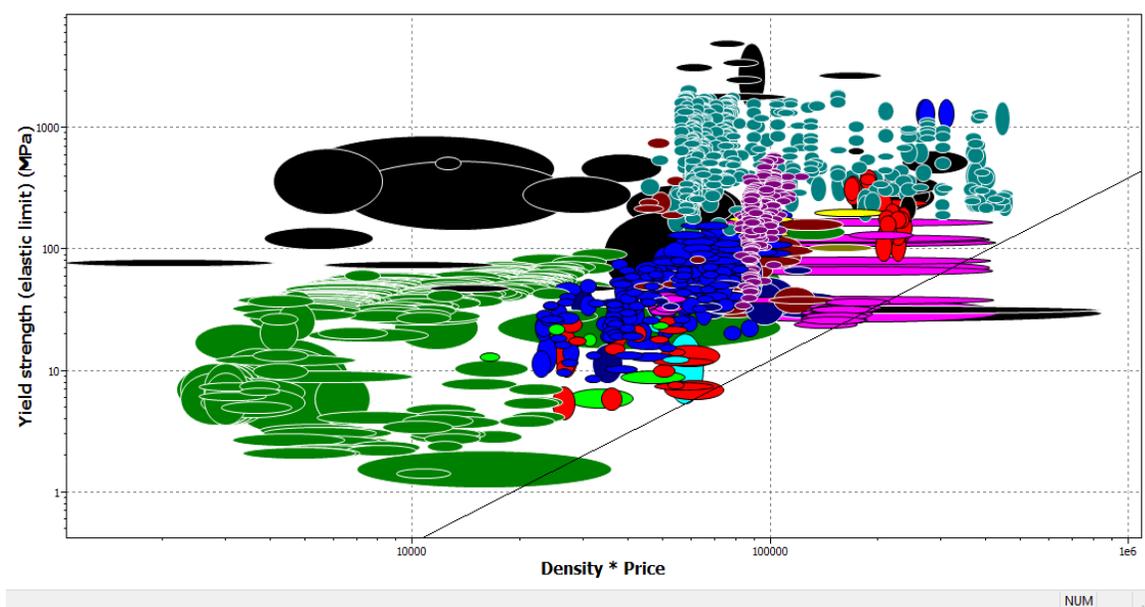
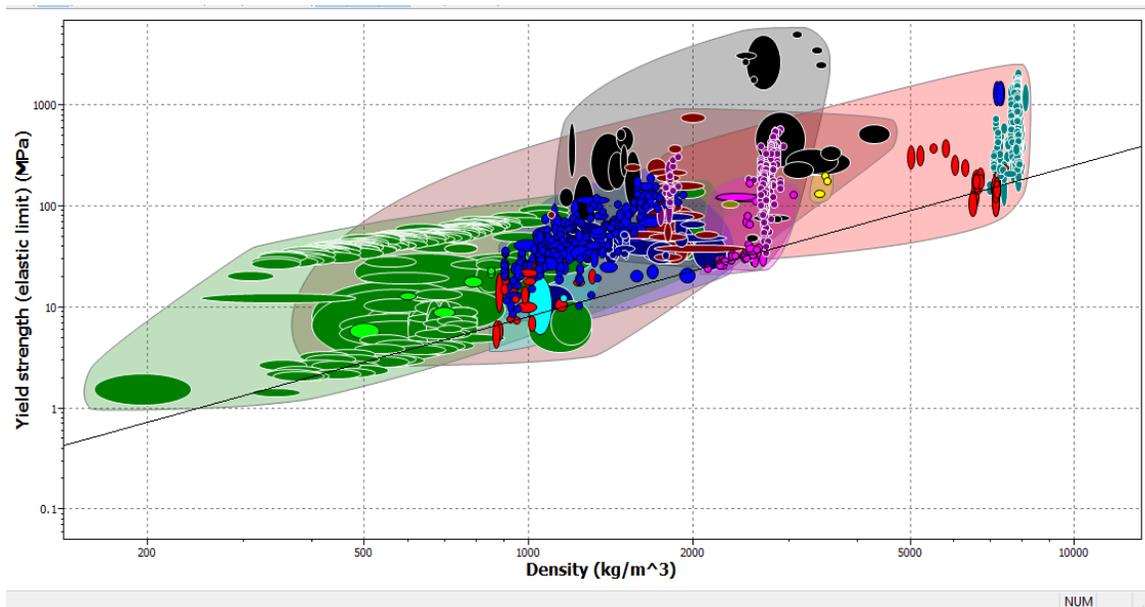


Figura 3-6 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3. Parte superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio

Algunas familias de materiales fueron descartadas de la selección, en la Tabla 3-8 se presenta las familias que fueron descartadas y los motivos por los cuales se descartaron. Con este criterio las gráficas obtenidas de la relación A y B se presentan en la Figura 3-7.

Familia de materiales	Motivo
Fibras y partículas	Materiales que no pueden ser adquiridos fácilmente en México

<p>Materiales naturales</p>	<p>El usuario opina que este tipo de materiales no le generan la suficiente confianza para el proceso de impresión.</p>
<p>Compuestos</p>	<p>Materiales que no pueden ser adquiridos fácilmente en México</p>
<p>Vidrios</p>	<p>El usuario opina que este tipo de materiales no le generan la suficiente confianza para el proceso de impresión además de ser materiales frágiles y los rodillos requieren una ligera deformación.</p>
<p>Cerámicos de ingeniería</p>	<p>El usuario opina que este tipo de materiales no le generan la suficiente confianza para el proceso de impresión.</p>

Tabla 3-8 Familias de materiales descartadas para la selección del material de los rodillos

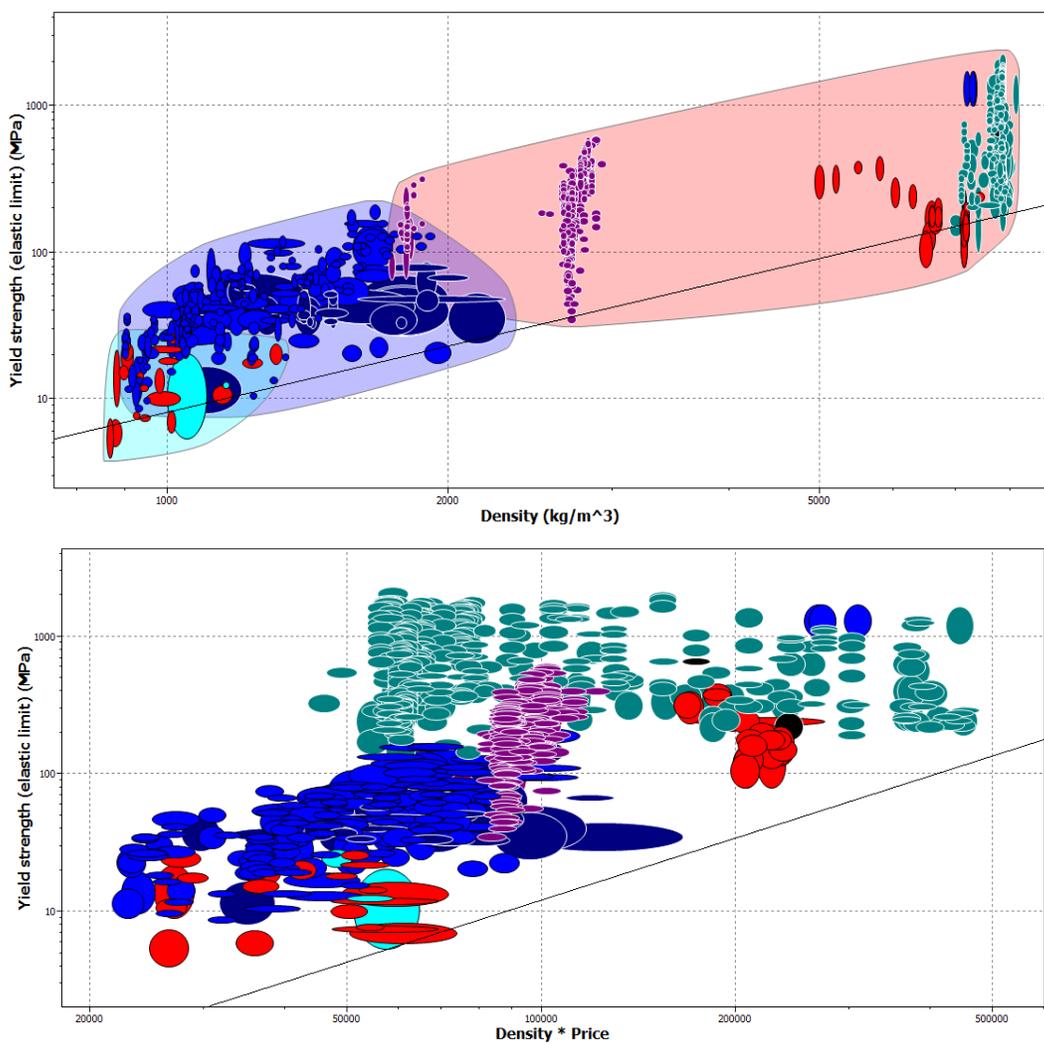


Figura 3-7 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3 y familias descartadas. Parte superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio

Se realizó un filtro de los materiales que se encuentran disponibles en la Ciudad de México y las gráficas resultantes de la relación A y B, respectivamente se presentan en la Figura 3-8.

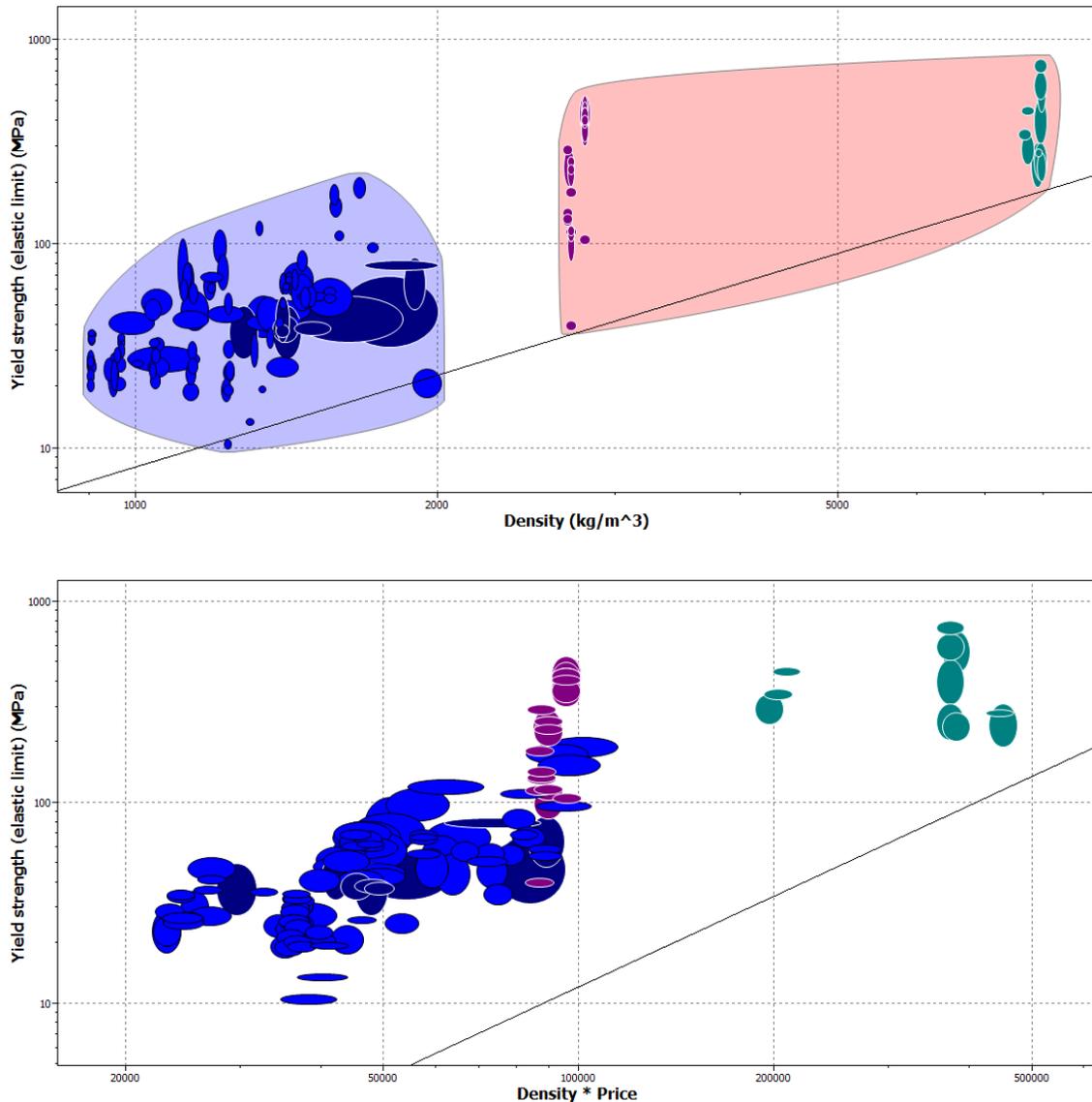


Figura 3-8 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3, familias descartadas y disponibilidad de materiales en la Ciudad de México. Parte superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio

Se observa en la Figura 3-8 que para aligerar el peso al máximo la mejor opción son los plásticos, los materiales de peso medio son diferentes aleaciones de aluminio y los más pesados el grupo de los aceros inoxidables.

El precio de los materiales plásticos y aleaciones de aluminio es similar por lo que ambas opciones son consideradas para su posible elección. Sin embargo, debido a la función final, el fabricar un rodillo sólido de plástico no es una alternativa

confiable. Por lo que los plásticos quedan descartados y se dejó solo los metales como alternativas de selección. Estos se muestran en la gráfica de la relación A y B de la Figura 3-9.

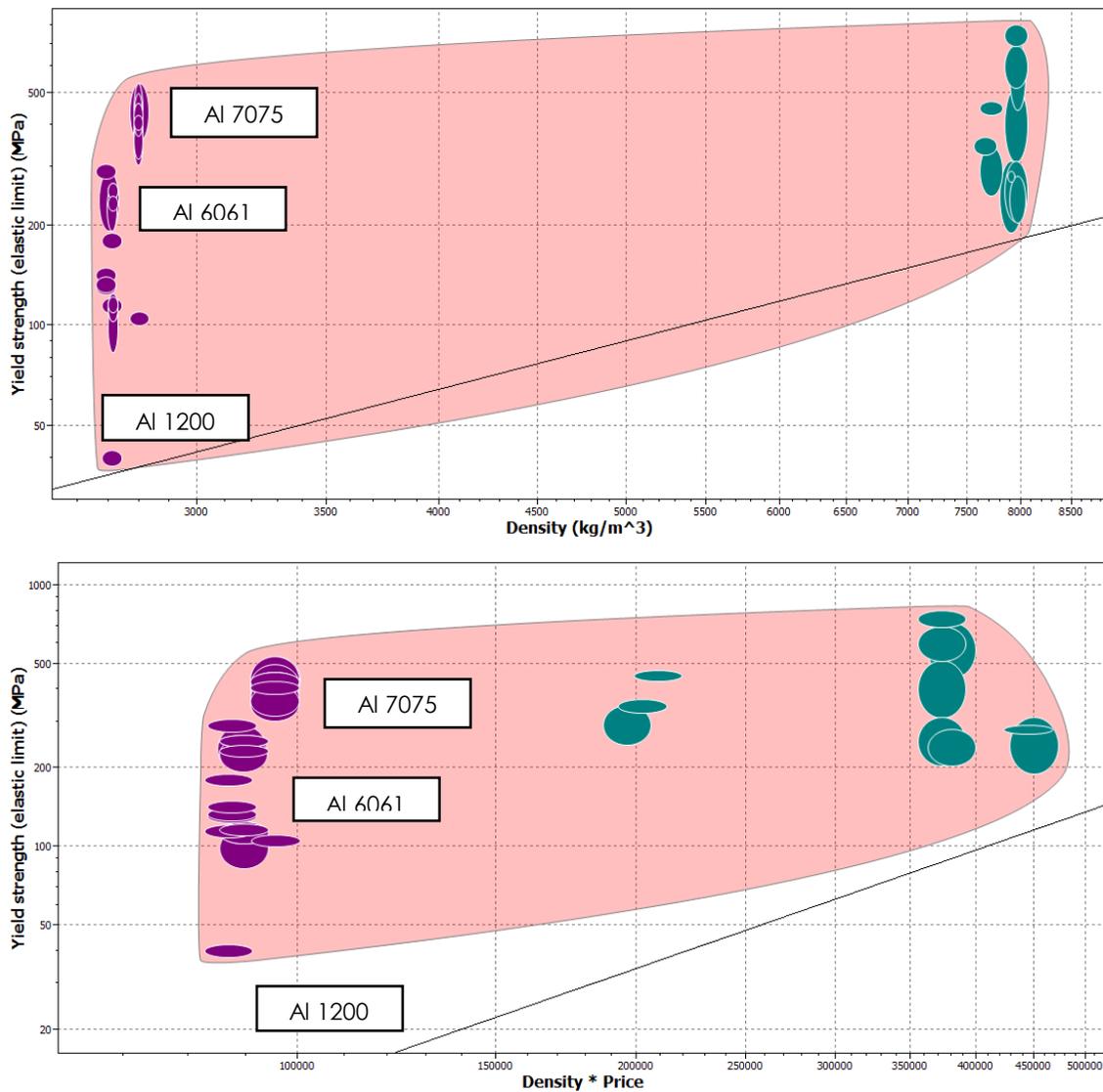


Figura 3-9 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3 y los posibles materiales para la fabricación de los rodillos de impresión. Parte superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio

Se obtuvo como resultado que los posibles materiales para la elaboración de los rodillos son aleaciones de aluminio 1200, 6061 y 7075, además de acero inoxidable de norma AISI 303, AISI 304 y AISI 430.

Con la ecuación (19) se calculó el radio mínimo de rodillo para cada uno de los posibles materiales ya que a menor tamaño, menor peso y mejor se cumplen las especificaciones del usuario. Los resultados se presentan en la Tabla 3-9 y se

utilizaron los valores de esfuerzo de fluencia mínimo y máximo reportados en la base de datos del software CES Edupack®.

Material		Esfuerzo de cedencia [Mpa]	Radio mínimo de rodillo [mm]	Diámetro mínimo de rodillo [mm]
Aluminio 1200, H14	Min	109	20.48352	40.96704
	Max	121	19.78267	39.56535
Aluminio 6061, T6	Min	193	16.93146	33.86292
	Max	209	16.48788	32.97575
Aluminio 7075, T6	Min	359	13.7673	27.53459
	Max	530	12.09079	24.18159
Acero inoxidable AISI 303	Min	204	16.62149	33.24299
	Max	280	14.95641	29.91283
Acero inoxidable AISI 304	Min	205	16.59442	33.18885
	Max	310	14.45749	28.91498
Acero inoxidable AISI 430	Min	245	15.63717	31.27434
	Max	345	13.95106	27.90211

Tabla 3-9 Posibles materiales para la fabricación de los rodillos de impresión

De la Tabla 3-9 se concluye que el radio mínimo del rodillo para cada material es muy similar por lo que cualquiera de estos materiales es una buena selección. En la Figura 3-9 se observa que las aleaciones de aluminio son más ligeras y menos costosas que el acero inoxidable.

Se concluye que la aleación de aluminio 6061 T6 es el mejor material para fabricar los rodillos de presión ya que es el más sencillo de adquirir en el mercado nacional, cumple con las restricciones de diseño, es un material ligero y de bajo costo en comparación con las otras alternativas.

3.1.4. Criterio de rigidez del rodillo

Los rodillos deben ser rígidos para mantener la presión uniforme sobre la matriz y asegurar la impresión de una estampa de calidad. Se calculó el valor de rigidez mínima que deben tener los rodillos y con este valor se determinó el radio mínimo para un rodillo fabricado de aluminio 6061 T6.

Para el cálculo del valor de rigidez mínima se utilizó como material de referencia el acero inoxidable AISI 303 y el valor de radio mínimo mostrado en la Tabla 3-9. Se analizó el problema como una viga de sección circular sometida a una fuerza distribuida como se muestra en la Figura 3-10. La función para calcular la rigidez se presenta en la ecuación (34) el significado de las variables en la Tabla 3-10.

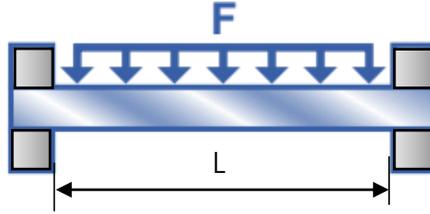


Figura 3-10 Diagrama de cuerpo libre para evaluar la rigidez necesaria de los rodillos de impresión

$$\frac{F}{\delta} = \frac{C_1 EI}{L^3} = S \quad (34)$$

Símbolo	Variable
F	Fuerza máxima
δ	Deformación
C1	Valor constante = 384 (Ashby, 2005)
E	Módulo de Young del material
I	Segundo momento de área
L	Longitud de la viga
S	Rigidez

Tabla 3-10 Descripción de las variables de la ecuación de rigidez

El segundo momento de área para una sección circular se presenta en la ecuación (35). Sustituyendo la ecuación (35) en la (34) se obtiene la relación de la rigidez en función del radio del rodillo y se muestra en la ecuación (36).

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 \quad (35)$$

$$S = \frac{C_1 EI}{L^3} = \frac{C_1 E \frac{\pi}{4} r^4}{L^3} \quad (36)$$

El acero inoxidable AISI 303, que permite una adecuada calidad de impresión de obras artísticas tiene un módulo de Young promedio de 196 [GPa], la longitud del rodillo es de 1.2 [m] y el radio mínimo de 16.62 [mm]. Se sustituyeron los valores en la ecuación (36).

$$S = \frac{(384)(196 \times 10^9) \frac{\pi}{4} (0.01662)^4}{(1.2)^3} = 2.6101 \times 10^6 \left[\frac{N}{m} \right]$$

Se obtuvo que la rigidez mínima debe ser de 2.6101×10^6 [N/m] por lo que se despejó el valor de r de la ecuación (36) para obtener el radio mínimo en función del material y la rigidez requerida obteniendo la ecuación (37). Se sustituyeron las propiedades del acero inoxidable AISI 303 por las del Aluminio 6061 T6, con un módulo de Young de 71 [GPa]; y se calculó el valor del radio mínimo que debe

tener una barra de aluminio 6061 T6 para tener la misma rigidez que una barra de acero inoxidable AISI 303 de 16.62 mm de radio.

$$r = \sqrt[4]{\frac{4SL^3}{C_1\pi E}} \quad (37)$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{4(2.6101 \times 10^6)(1.2)^3}{(384)\pi(71 \times 10^9)}} = 0.021423[m] = 21.423[mm]$$

Se calculó que el radio mínimo de los rodillos de impresión debe ser de 21.423[mm] para asegurar una impresión de calidad. y se prosiguió a seleccionar los rodamientos donde se ensamblan los rodillos.

3.1.5. Selección de rodamientos

Los rodillos requieren la instalación de rodamientos como elemento de soporte para asegurar la rotación con grandes cargas. Para seleccionar el tipo de rodamiento se utilizaron como criterios la carga máxima que se debe soportar y su disponibilidad comercial.

Para calcular la carga máxima se utilizó el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 3-11, que la fuerza distribuida aplicada sobre el rodillo es soportada por los rodamientos equitativamente, fuerza de reacción R_y . Con base en el equilibrio estático se define la ecuación (38). R_y es la carga que debe soportar el rodamiento por lo que para obtener su valor se despejó la variable de la ecuación (38) y se obtuvo la ecuación (39).

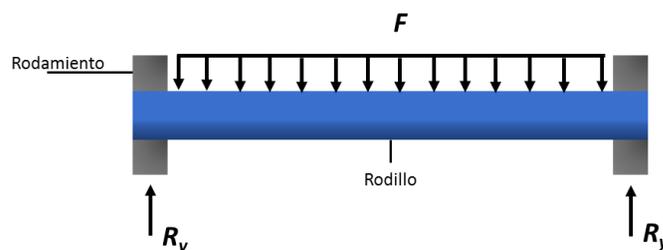


Figura 3-11 Diagrama de cuerpo libre para el análisis de la reacción en los puntos de apoyo de los rodillos de impresión

$$2R_y = F \quad (38)$$

$$R_y = \frac{F}{2} \quad (39)$$

Al sustituir en la ecuación (39) el valor de la carga máxima de 9810 [N]

$$R_y = \frac{9810}{2} [N] = 4905 [N]$$

Se obtuvo que los rodamientos requieren soportar una carga de 4905 [N] cada uno. Se revisó el catálogo de rodamientos NSK® proporcionado de forma electrónica por la empresa Baleromex S.A. de C.V. y los modelos de considerados para la selección se presentan en la Tabla 3-11.

Rodamiento	Modelo	Diámetro interno [mm]	Diámetro externo [mm]	Carga Máxima[N]
 <ul style="list-style-type: none"> . Hilera Sencilla . Canal Profundo . Tipo Conrad 	6004	20	42	5028
	6005	25	47	5829
	6006	30	55	8276

Tabla 3-11 Rodamientos comerciales que cumplen con las especificaciones del diseño

Con base en las dimensiones mostradas en la Tabla 3-11, el rodillo requiere una reducción de diámetro para ensamblarse con el rodamiento. Esta reducción produce un concentrador de esfuerzos por lo que se realizó un análisis de elemento finito utilizando el software CATIA® para determinar si se produce la falla en el diámetro menor del rodillo. Se realizaron varias iteraciones de análisis para determinar las dimensiones del rodillo.

Se propusieron tres dimensiones comerciales que cumplen los requerimientos de radio mínimo y radio máximo para el rodillo, las dimensiones propuestas para definir el diámetro son: 2, 2.5 y 3 pulgadas. Se realizó el análisis de elemento finito como se muestra en la Figura 3-12 para cada una de las combinaciones entre diámetro propuesto y rodamiento. Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 3-12.

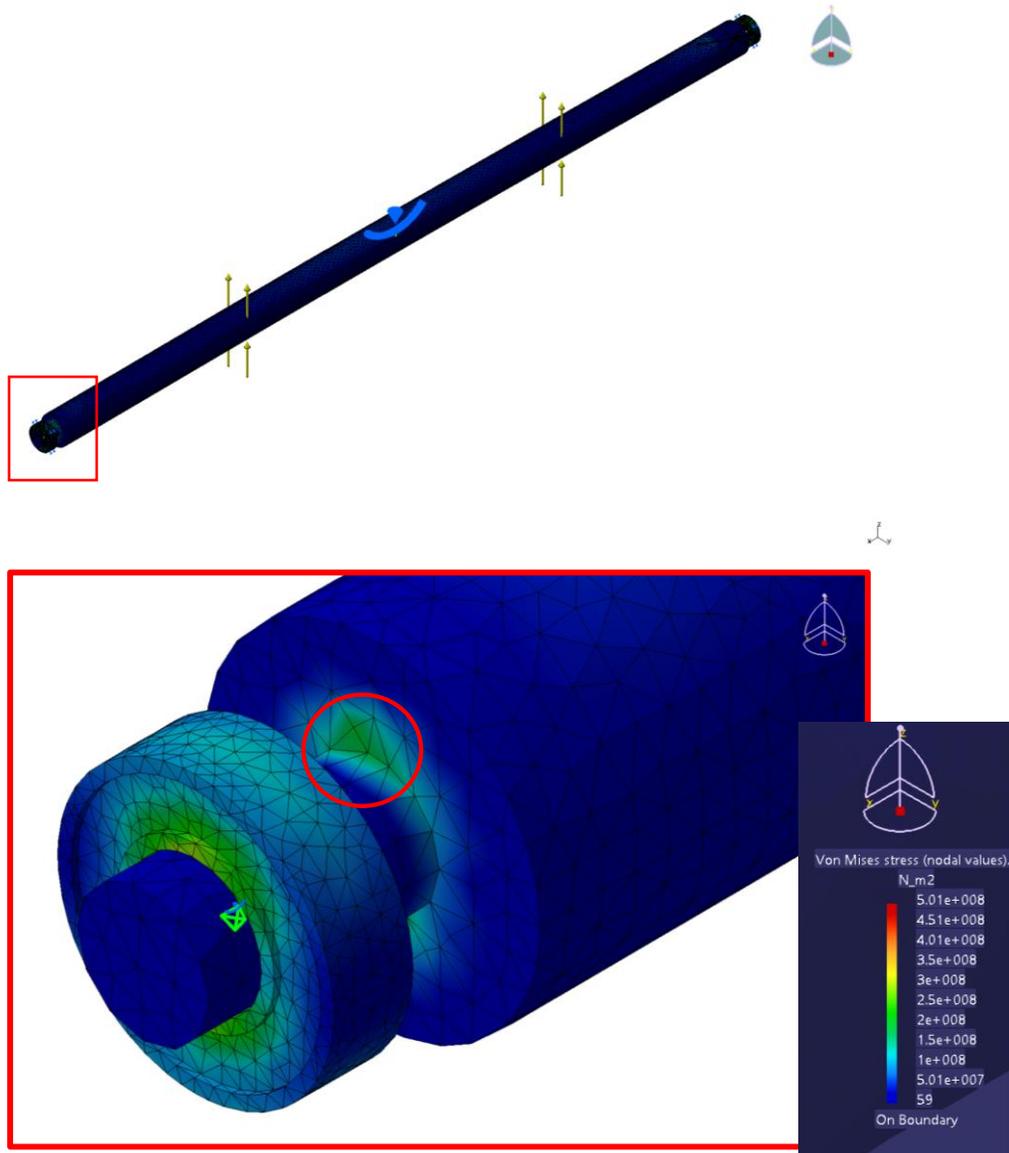


Figura 3-12 Análisis por elemento finito en secciones de concentración de esfuerzos de los rodillos de impresión

Combinación	Diámetro mayor [Pulg.]	Diámetro menor [mm]	Rodamiento	Esfuerzo de Von mises [MPa]
1	2	20	6004	176
2	2.5	20	6004	125
3	3	20	6004	78.1
4	2	25	6005	161
5	2.5	25	6005	140
6	3	25	6005	125
7	2	30	6006	90.7

8	2.5	30	6006	55.8
9	3	30	6006	46

Tabla 3-12 Iteraciones del análisis de elemento finito para diferentes medidas comerciales de rodillo y modelos de rodamiento.

El esfuerzo de Von Mises debe ser menor al esfuerzo de fluencia del material, es decir, debe ser menor a 190 MPa para la aleación de aluminio 6061 T6. Se observó en la Tabla 3-12 que todas las combinaciones cumplen con el criterio mencionado.

Se seleccionó la combinación 2 de la Tabla 3-12 para dimensionar los rodillos de presión porque se busca que el tamaño de los componentes sea el menor posible para reducir el peso y el costo del diseño. Las dimensiones finales de los rodillos se presentan en la Tabla 3-13.

Dimensión	Valor
Diámetro mayor	63.5[mm]
Diámetro menor	20[mm]
Longitud diámetro mayor	1300[mm]
Longitud diámetro menor	Defino en el diseño de configuración.

Tabla 3-13 Dimensiones finales de los rodillos de impresión

Como el sistema de presión está conformado por un rodillo superior y uno inferior, el rodillo inferior debe cargar su propio peso además de soportar la carga máxima especificada. Se modeló el rodillo inferior en el software de CATIA® con las dimensiones mostradas en la Tabla 3-13 con el mismo software se calculó el peso del rodillo y resultó de 11.242 kg. Se realizó el análisis por elemento finito adicionando el peso del rodillo a la carga máxima dando un valor de 9920.28[N] y se obtuvo un esfuerzo máximo de Von Mises de 128 MPa. Por lo que con las dimensiones establecidas el rodillo inferior soporta su propio peso y la carga máxima en conjunto.

3.2. Elementos de control

En el capítulo 2, diseño conceptual, se definió que el sistema de control es conformado por dos tornillos de precisión y dos motores. Para seleccionar estos elementos de entre los modelos comerciales se calcularon la carga axial máxima y la precisión mínima de desplazamiento. La carga máxima se determinó usando un análisis estático y la precisión de desplazamiento se definió a partir de la deformación mínima para no sobrepasar el esfuerzo de fluencia las matrices calcográficas.

Con los criterios de selección establecidos se exploraron los elementos comerciales que cumplieran con los requerimientos y se seleccionaron todos los componentes para el sistema de control de presión, el cual se basa en el control de la posición de los rodillos.

3.2.1. Carga máxima del tornillo de precisión.

Con base en la propuesta de diseño conceptual para el sistema de precisión y los tornillos de precisión comerciales se propuso el ensamble mostrado en la Figura 3-13. Se retomó la Figura 3-11 y se conjunto con la Figura 3-13 para realizar el análisis estático del ensamble del tornillo de precisión, el análisis se muestra en la Figura 3-14.

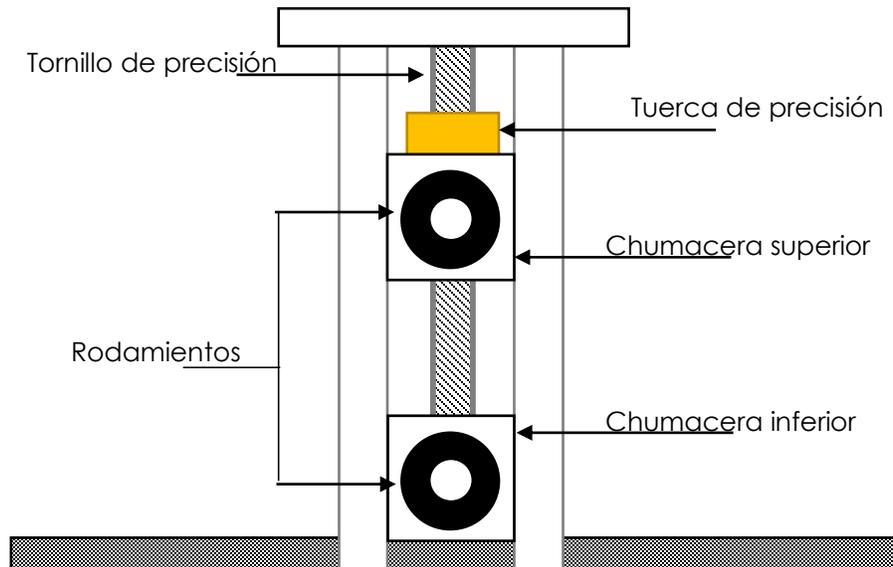


Figura 3-13 Ensamble para el sistema de precisión

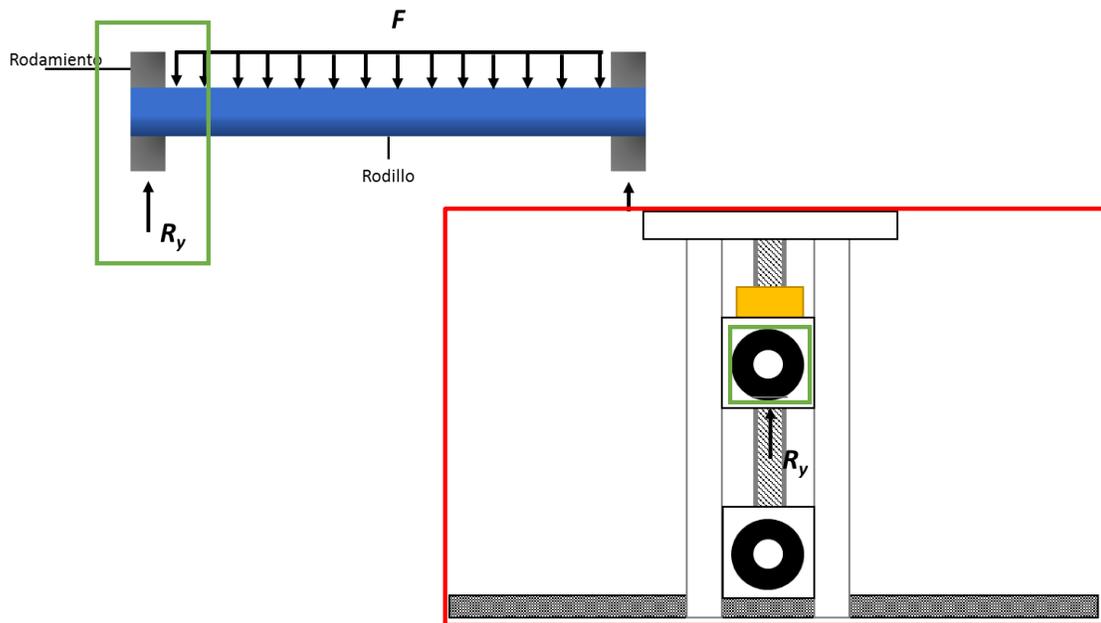


Figura 3-14 Diagrama de cuerpo libre para el análisis de la carga que debe soportar el sistema de precisión

Con base en la Figura 3-14 se observa que la carga R_y que soportan los rodamientos es la misma carga que deben de soportar los tornillos de precisión de forma axial. También se observa que, por la forma del ensamble, el peso del rodillo superior es una fuerza en sentido opuesto a la carga R_y . Por lo que la máxima carga de R_y es igual al valor obtenido en la sección anterior de 4905 [N].

3.2.2. Precisión de avance mínimo.

Para el cálculo de la precisión mínima que requiere el tonillo se utilizó de criterio el no deformar plásticamente las matrices calcográficas. Para maximizar la duración de las matrices calcográficas elaboradas con materiales metálicos, la deformación presentada por estas durante el proceso de estampado debe ser mínima, como el esfuerzo producido está en función de la deformación de la matriz, se realizó el cálculo de la deformación máxima para no sobrepasar el esfuerzo de cedencia.

En la Figura 3-15 se presenta la forma en la que las matrices de metal se deforman al pasar entre los rodillos. Con base en este análisis la forma de calcular la deformación se presenta en la ecuación (40) donde t_0 es el espesor inicial del material y t_f el espesor final durante el proceso de estampado.

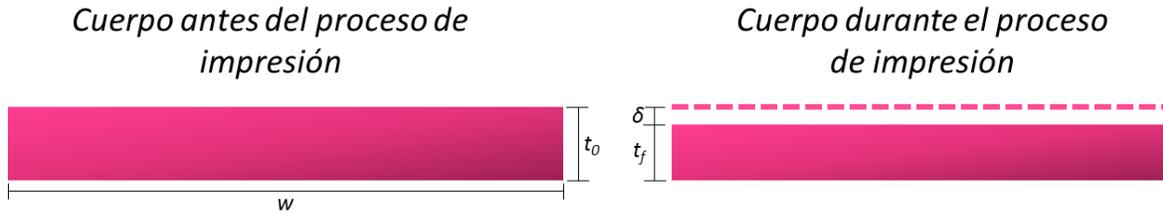


Figura 3-15 Cambio de espesor del material durante el proceso de laminado

$$\delta = t_0 - t_f \quad (40)$$

Como se busca no rebasar el esfuerzo de cedencia del material se está en la zona plástica del mismo por lo que se puede aplicar la ley de Hooke, esta se presenta en la ecuación (41). Para calcular la deformación unitaria se utiliza la ecuación (42).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (41)$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{t_0} = \frac{t_0 - t_f}{t_0} \quad (42)$$

Se despejó la variable de la deformación unitaria de la ecuación (41) y se substituyó la ecuación (42). De esta forma se obtuvo la ecuación (43).

$$\frac{t_0 - t_f}{t_0} = \frac{\sigma}{E} \quad (43)$$

De la ecuación (43) se despejó el valor del espesor final de material y se obtuvo la ecuación (44) que relaciona el espesor final en función del espesor inicial, el módulo de Young y el esfuerzo aplicado. Esta ecuación solo es aplicable para valores de esfuerzo menores al esfuerzo de fluencia del material.

$$t_f = \left(1 - \frac{\sigma}{E}\right) t_0 \quad (44)$$

Como criterio de diseño se determinó que, para no deformar las matrices metálicas permanentemente, la carga aplicada no debe ejercer un esfuerzo mayor al esfuerzo de fluencia σ_y . Se propuso que la matriz no debe alcanzar el 90% del valor del esfuerzo de cedencia, por lo que la ecuación (44) se reescribe como la ecuación (45).

$$t_f = \left(1 - \frac{0.9\sigma_y}{E}\right) t_0 \quad (45)$$

Con la ecuación (45) se determinó el espesor final de la matriz metálica y con la ecuación (40) se calculó la deformación requerida para no sobrepasar el 90% del valor del esfuerzo de cedencia para una matriz de aluminio calibre 14.

$$t_f = \left(1 - \frac{0.9(95 \times 10^6 [Pa])}{(70 \times 10^9 [Pa])}\right) (2.11 \times 10^{-3} [m]) = 2.107 \times 10^{-3} [m]$$

$$\delta = (2.11 \times 10^{-3} [m]) - 2.107 \times 10^{-3} [m] = 0.003 \times 10^{-3} [m]$$

El mismo procedimiento se realizó para evaluar la deformación mínima para láminas de aluminio y cobre, los materiales más usados para realizar impresiones calcográficas, de calibre 14 a 19 (2mm a 1mm aproximadamente). Los datos obtenidos se presentan en la Tabla 3-14 y la Tabla 3-15. Se observa que mientras aumenta el número de calibre de aluminio la deformación necesaria disminuye, llegando a un valor de 1 [µm] y para todos los casos de cobre también es de 1 [µm], por lo que este valor es el avance mínimo necesario que requiere el sistema de control.

Información del material						
	Valor			Unidades		
Material	Aluminio					
Esfuerzo de fluencia Sigma F	95			MPa		
90% Antes de alcanzar esfuerzo de fluencia	85.5			MPa		
Módulo de Young	70			GPa		
Iteraciones						
Calibre de lamina	14	15	16	17	18	19
Espesor inicial [mm]	2.108	1.829	1.651	1.473	1.245	1.067
Espesor final necesario [mm]	2.105	1.827	1.649	1.471	1.243	1.066
Deformación necesaria [mm]	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001

Tabla 3-14 Iteraciones para encontrar la deformación que no sobrepase el esfuerzo de cedencia de diferentes calibres de lamina de aluminio

Información del material						
	Valor			Unidades		
Material	cobre					
Esfuerzo de fluencia Sigma F	70			MPa		
90% Antes de alcanzar esfuerzo de fluencia	63			MPa		
Módulo de Young	120			GPa		
Iteraciones						
Calibre de lamina	14	15	16	17	18	19
Espesor inicial [mm]	2.108	1.829	1.651	1.473	1.245	1.067
Espesor final necesario [mm]	2.107	1.828	1.650	1.472	1.244	1.066
Deformación necesaria [mm]	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Tabla 3-15 Iteraciones para encontrar la deformación que no sobrepase el esfuerzo de cedencia de diferentes calibres de lamina de cobre

3.2.3. Selección del tornillo comercial.

Las especificaciones del sistema de control son el soportar una carga axial de 4905 [N] y tener una precisión de avance de 1[μm] con base en la sección 3.2.2. Se realizó la selección del tornillo de precisión del fabricante Thomson Linear.

El fabricante especifica que la fuerza de tensión máxima soportada por el tornillo está determinada por la fuerza máxima que soporta la tuerca, por lo que el criterio de selección es la fuerza compresiva que actúa sobre el tornillo. Se retomó la Figura 3-14 se ocultaron algunos elementos estructurales para una mejor visualización y se realizó el análisis mostrado en la Figura 3-16.

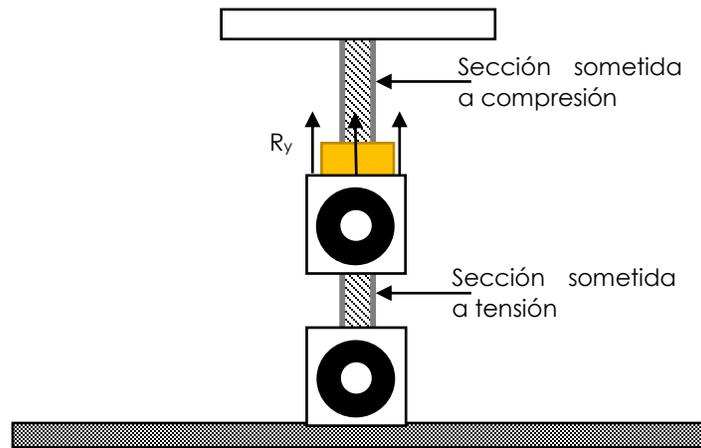


Figura 3-16 Diagrama de cuerpo libre para identificar la carga que debe soportar el tornillo de precisión

Con base en la Figura 3-16 se definió que la fuerza máxima compresiva es igual a R_y con valor de 4905 [N.]. La longitud mínima del tornillo es de 200 [mm] con base en las especificaciones de diseño. Con esta información se prosiguió a utilizar el diagrama que se muestra en la Figura 3-17, proporcionado por el fabricante para determinar diámetro mínimo para el tornillo.

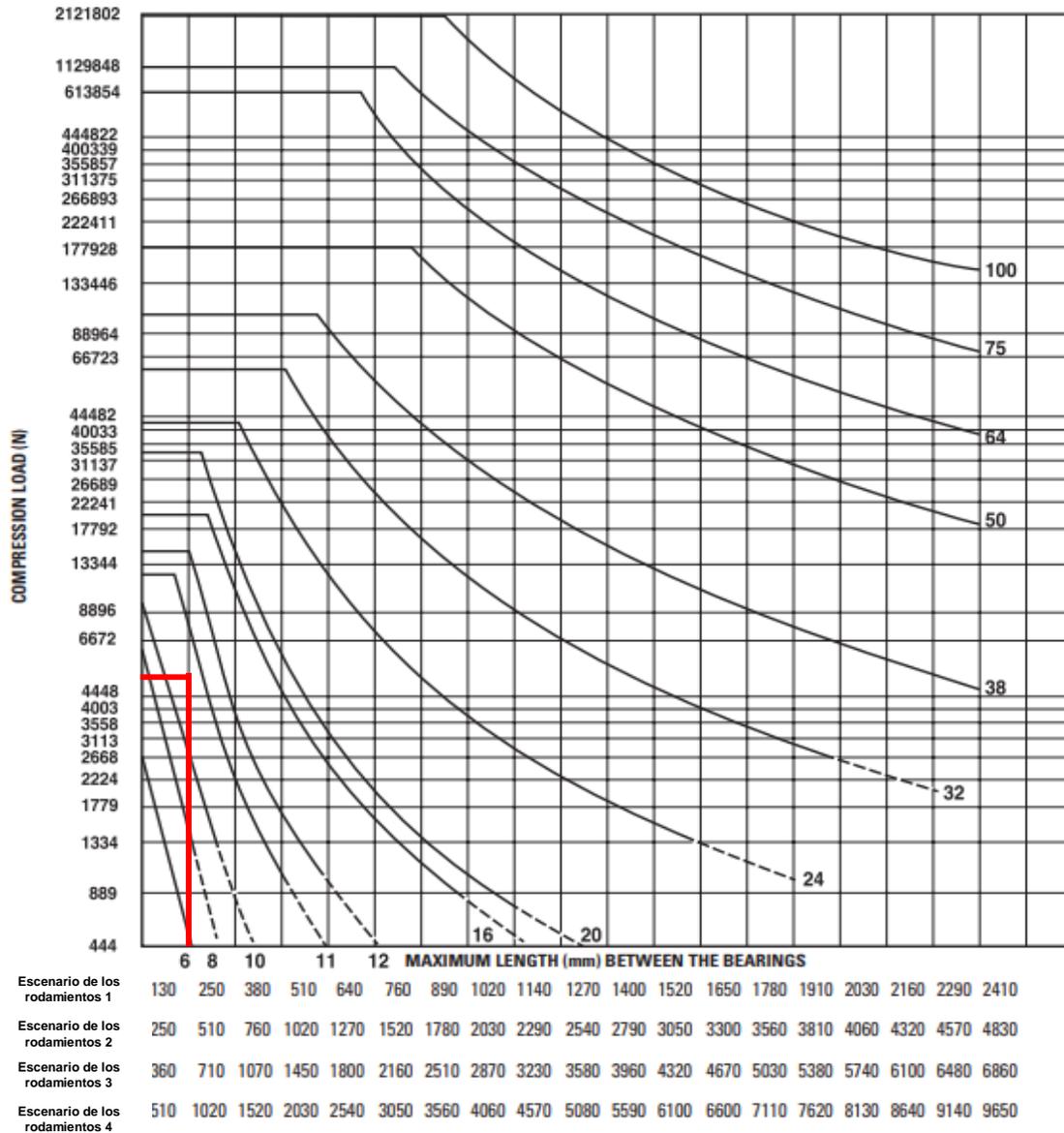


Figura 3-17 Diagrama proporcionado por Thomson Industries, Inc.® para la selección del tornillo de precisión con base en la carga compresiva máxima que debe soportar

El fabricante especifica que la selección del diámetro mínimo depende de la forma en la que el tornillo se instale. Las formas de instalación estándar y las variaciones en la selección se presentan en la Figura 3-18. Con base en la Figura 3-16 se escoge el escenario 2 de la Figura 3-18 como criterio de selección.

El punto donde se cruzan el valor de carga máxima y la longitud máxima del tornillo en la Figura 3-17 indica el valor de diámetro mínimo permisible. Para el sistema de control se tiene una carga máxima de 4905[N] y una longitud mínima de 200[mm] por lo que estableciendo una longitud máxima de 250[mm] se obtuvo un radio mínimo de 10 [mm]

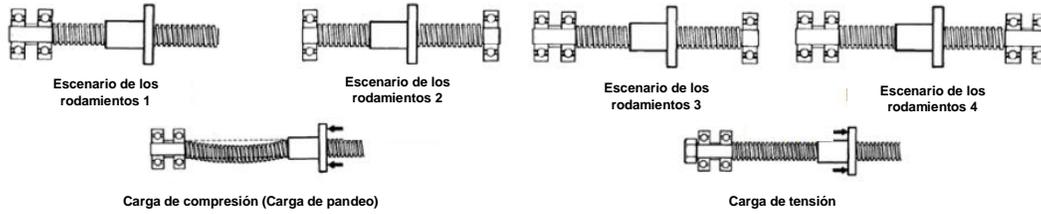


Figura 3-18 Diferentes escenarios de instalación de los rodamientos para identificar el que mas se asemeje al usado por el usuario y así seleccionar el tornillo de precisión adecuado.

3.2.4. Selección del motor

La empresa Thomson Linear fabrica tornillos de precisión integrados con motores, mostrados en la Figura 3-19, por que se exploró el catálogo de este producto para seleccionar el motor y conjunto que cumpla con el criterio de tener un tornillo de diámetro mínimo de 10 [mm] y una precisión de 1 [μm]. La información de la gama de tornillos con motor integrado se presenta en la Figura 3-20



Figura 3-19 Ensamble comercial de motor Nema con tornillo de rosca ACME modelo ML23A155 S M10-02-40000P FSS-001

Tornillos de avance métrico						
Avance lineal / Paso completo[mm]	Paso [mm]	Tipo y diámetro del tornillo[mm]				
		ML11	ML14	ML17	ML23	
		4	6	6	8	10
0.005	1.00	•	•	•		
0.010	2.00				•	•
0.015	3.00					•
0.020	4.00	•			•	
0.025	5.00					•
0.030	6.00		•	•		
0.040	8.00	•			•	
0.050	10.00					•
0.060	12.00		•	•	•	
0.100	20.00				•	•

Figura 3-20 Gama de tornillos con motor integrado de Thomson Industries, Inc.®

Se observa en la Figura 3-20 que la precisión de avance mínima que tiene la combinación de un tornillo de 10[mm] de diámetro con un motor ML23 es de 0.01[mm]. Aunque esta combinación no cumple con el criterio de precisión establecido es la mejor alternativa de solución para el sistema de control de presión. El usar este elemento comercial implica que las matrices metálicas presentarán deformación plástica durante el proceso de impresión, sin embargo, esta precisión maximiza la vida útil de las matrices metálicas.

Para el ensamble del tornillo con la chumacera superior se seleccionó la tuerca modelo SNAB10X2M mostrada en la Figura 3-12. Tuerca fabricada en Acetal con sistema anti-retroceso y puede soportar una carga estática con valor máximo de 1556.88[N] (350[lbf]). La carga permisible para la tuerca es menor que la carga máxima que debe soportar, esta carga solo está presente durante el proceso de impresión, por lo que se propusieron apoyos para distribuir la fuerza en diferentes puntos como se muestra en la Figura 3-22.



Figura 3-21 Rosca para tornillo ACME modelo SNAB10X2M

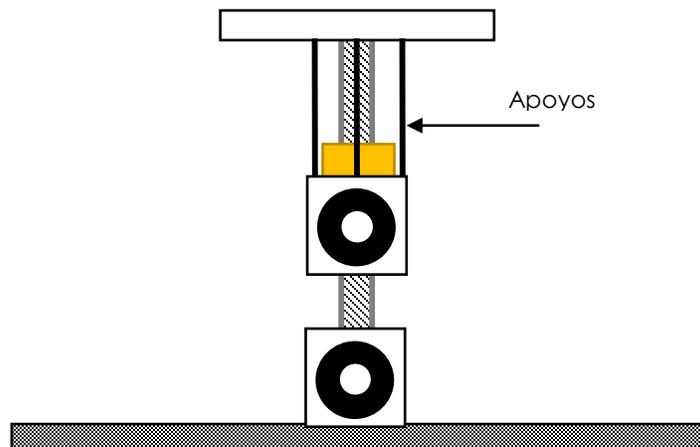


Figura 3-22 Ubicación de apoyos para el sistema de precisión

Las especificaciones del elemento comercial seleccionado para el sistema de precisión indican que la carga máxima permisible es de 890[N], por lo que se propusieron 6 puntos de apoyo con los cuales la carga máxima de 4905[N] se distribuye entre los puntos de apoyo y el tornillo de precisión y así cada elemento soporta una carga máxima de 700[N].

3.3. Detalle del sistema de soporte de piezas artísticas

El sistema de soporte, conocido como platina en el argot del grabado, es el elemento en el que se colocan los grabados para realizar el proceso de impresión.

3.3.1. Análisis de ingeniería para el sistema de soporte de piezas artísticas.

En la Figura 3-23 se presenta la posición del sistema de soporte o platina durante el proceso de impresión. Se observa que al pasar entre los rodillos junto con la matriz la platina también está sometido a fuerzas de compresión como se muestra en la Figura 3-24.

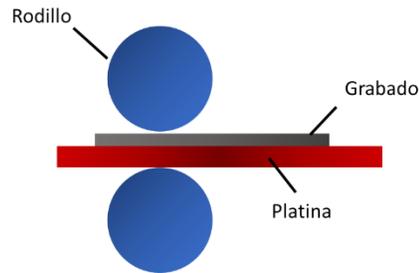


Figura 3-23 Ubicación del grabado durante el proceso de estampado

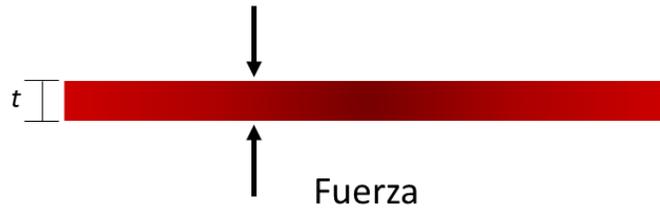


Figura 3-24 Diagrama de cuerpo libre de la platina durante el proceso de estampado

La fuerza de compresión máxima se definió en la sección y tiene un valor de 9810[N], la platina debe de soportar la carga máxima sin deformarse o quebrarse para asegurar la impresión de una estampa de calidad. El esfuerzo máximo en la platina se obtiene utilizando la ecuación (46) y debe ser menor al esfuerzo de fluencia del material con el que este fabricada la platina como se muestra en la ecuación (47).

$$\frac{F}{A} = \sigma \quad (46)$$

$$\frac{F}{A} = \sigma_f \quad (47)$$

La carga aplicada sobre la platina se ejerce sobre el área definida por el ancho de la matriz y la longitud de contacto del rodillo como se muestra en la Figura 3-25. Por lo que la ecuación (47) se reescribe como se muestra en la ecuación (48). Se sustituyó la ecuación (2) en la ecuación (48) y se obtuvo la ecuación (49).

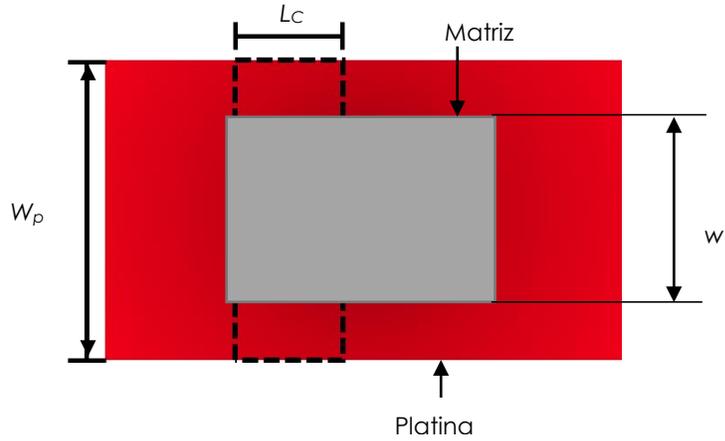


Figura 3-25 Área donde se aplica la carga de compresión sobre la platina

$$\frac{F}{wL_c} = \sigma_f \quad (48)$$

$$\frac{F}{w\sqrt{R(t_0 - t_f)}} = \sigma_f \quad (49)$$

Por lo que para la selección del material para la platina se utiliza la zona crítica mostrada con un recuadro purpura en la Figura 3-26 que es en donde se produce el mayor esfuerzo.

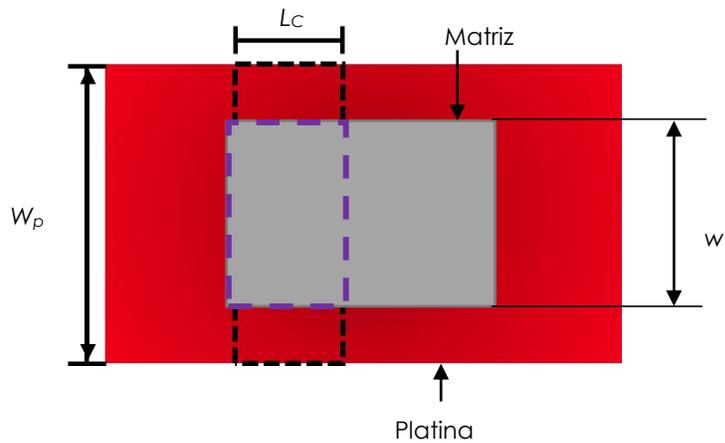


Figura 3-26 Zona crítica de aplicación de la carga sobre la platina

3.3.2. Selección del material para la platina

Para la selección del material se utilizó el mismo procedimiento que para los rodillos de la sección 3.1.3, se calcularon los índices de desempeño para la platina y se buscó reducir el peso y el precio. El planteamiento del problema de la selección del material presenta en la Tabla 3-16.

Función	Soporte para la impresión de grabados artísticos
Restricciones	Fuerza de compresión máxima 9810[N] Ancho de la platina =1.3 [m] Largo de la platina >2.4 [m]
Objetivos	Minimizar el peso Minimizar el costo
Variables libres	Espesor de platina Selección del material

Tabla 3-16 Planteamiento de la selección del material para la platina

Primer índice de desempeño de la platina, minimizando el peso.

Se busca reducir el peso de la platina por lo que retoma la (12). La ecuación de masa puede reescribirse como se muestra en la ecuación (50), donde A, para este caso, es el área donde se aplica la fuerza sobre la platina y t es el espesor de la platina.

$$m = \rho At \quad (50)$$

Despejando el valor de A de la ecuación (47) y sustituyéndolo en la ecuación (50) se obtiene la ecuación (51).

$$m = \rho \frac{F}{\sigma_f} t \quad (51)$$

Reacomodando los términos de la ecuación (51) se obtiene la ecuación (52).

$$m = Ft \left(\frac{\rho}{\sigma_f} \right) \quad (52)$$

En la ecuación (52) se observa que para minimizar la masa se debe minimizar el valor de ρ entre el esfuerzo de cedencia por lo que se debe maximizar el recíproco, por lo que el primer índice de desempeño para la platina es el mostrado en la ecuación (53).

$$M_3 = \frac{\sigma_f}{\rho} \quad (53)$$

Segundo índice de desempeño de la platina, minimizando el costo.

Para calcular el costo del material de la platina se utiliza la ecuación (54). Sustituyen el valor del área, como se hizo para el primer índice de desempeño se obtiene la ecuación (55).

$$C_2 = C_m \rho A t \quad (54)$$

$$C_2 = C_m \rho \frac{F}{\sigma_f} t \quad (55)$$

Se reacomodaron los términos de la ecuación (55) y se obtuvo la ecuación (56).

$$C_2 = Ft \left(\frac{\rho C_m}{\sigma_f} \right) \quad (56)$$

Con el mismo razonamiento usado para determinar el primer índice de desempeño de la platina se obtuvo el segundo índice de desempeño para la platina mostrado en la ecuación (57).

$$M_4 = \frac{\sigma_f}{\rho C_m} \quad (57)$$

SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LA PLATINA CON CES EDUPACK®

Con base en los índices de desempeño obtenidos se observa que las relaciones para la selección de material son las mismas que en el caso de los rodillos de presión, por lo que se retoman las gráficas de la relación A, esfuerzo de cedencia contra densidad; y la relación B, esfuerzo de cedencia contra el producto entre la densidad del material y el costo por kilogramos del material.

Relación A: σ_y Vs. ρ

Se construyó la gráfica de la relación A, se colocó una línea guía con pendiente de 1 y se tomó de referencia el acero inoxidable, material con el que se fabrican comercialmente las platinas, con un índice de desempeño de $M_3 = 0.02[\text{MPa}/(\text{kg}/\text{m}^3)]$. La gráfica construida se muestra en la Figura 3-27 y todos los materiales por encima de la línea guía son posibles candidatos para la platina.

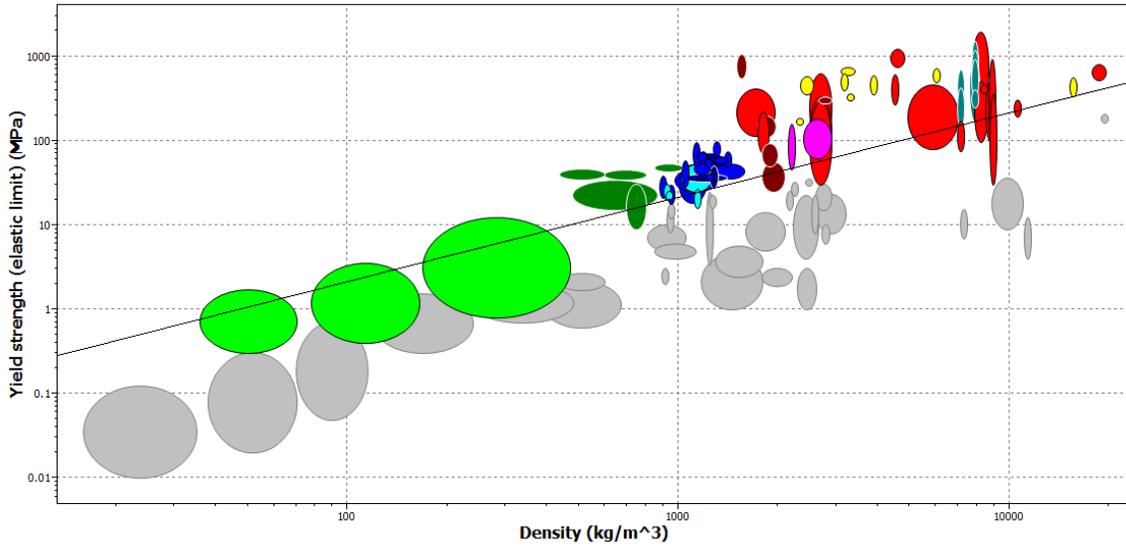


Figura 3-27 Relación de esfuerzo de cedencia contra densidad para la selección de material de la platina. Base de datos nivel 2.

Relación B: σ_y Vs. ρCm

La gráfica de la relación B se presenta en la Figura 3-28, la línea guía tiene una pendiente de 1 y se colocó tomando de referencia también el acero inoxidable con un índice de desempeño de $M_4 = 0.27 \times 10^{-3} [\text{MPa}/(\$/\text{m}^3)]$. Donde todos los materiales por encima de la línea guía son posibles candidatos para la platina.

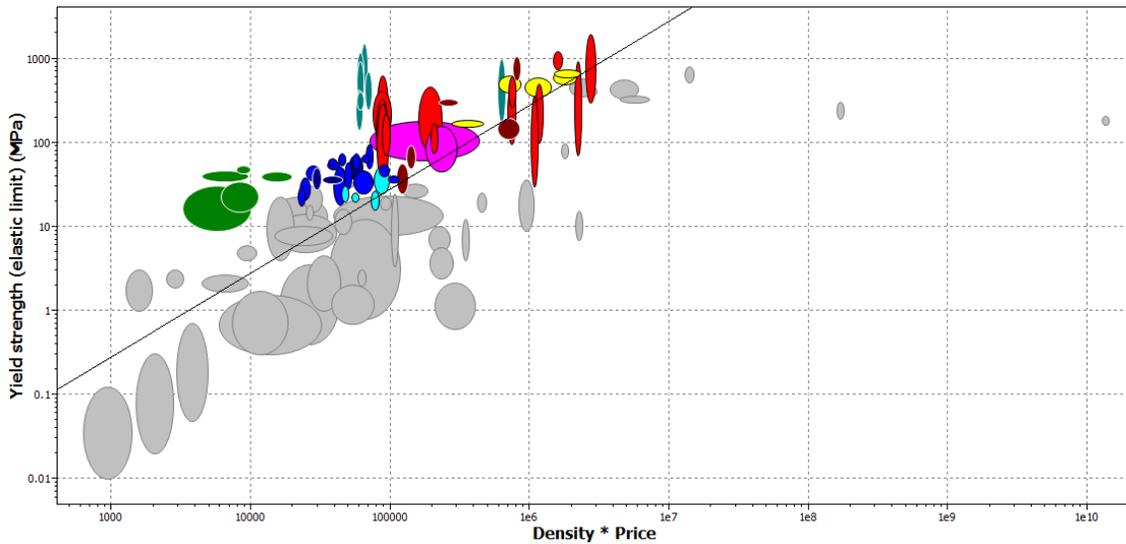


Figura 3-28 Relación de esfuerzo de cedencia contra densidad por costo para la selección de material de la platina. Base de datos nivel 2.

Restricciones de diseño

Se estableció como criterio de falla el no sobrepasar el esfuerzo de fluencia de la platina durante el proceso de estampado. Con base en la ecuación (49) se observa que el esfuerzo producido en la platina es igual al esfuerzo de fluencia promedio del material que se esté deformando entre los rodillos.

Usando la ecuación del esfuerzo de fluencia promedio (3) y tomando de referencia una matriz de aluminio de calibre 14, que es el material que mayor esfuerzo puede provocar, y un cambio de espesor de 0.01 [mm] se obtuvo el valor del esfuerzo de fluencia mínimo para la platina.

$$\bar{Y}_f = \frac{(175 \times 10^6) \left(\ln \frac{2.11}{2.10} \right)^{0.2}}{1 + 0.2} = 50.0272 \text{ MPa}]$$

Se estableció el esfuerzo obtenido como límite inferior de esfuerzo de fluencia en el software, se descartaron las familias de materiales mostradas en la Tabla 3-8 y se filtraron los materiales que se pueden obtener en la CDMX. Se elevó la base de datos de nivel 2 a nivel 3 y se obtuvieron las gráficas mostradas en la Figura 3-29.

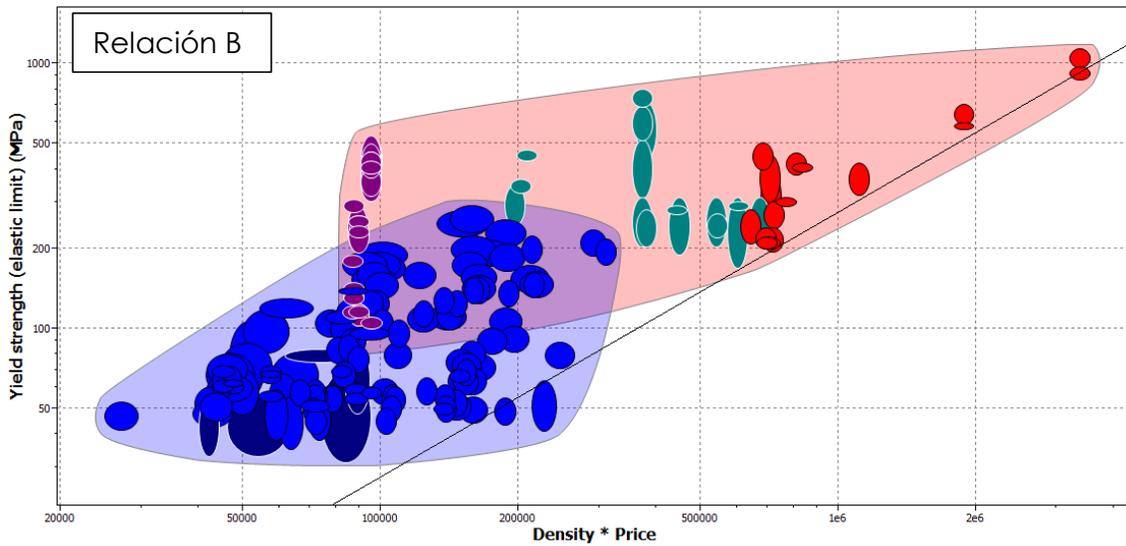
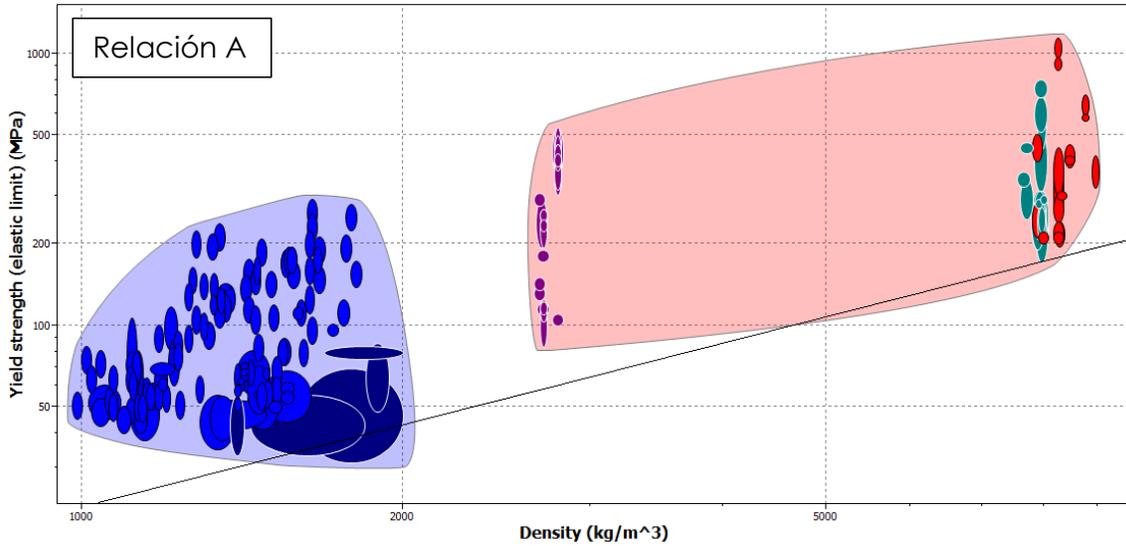


Figura 3-29 Gráficas de selección de material con la base de datos de Nivel 3, familias descartadas y disponibilidad de materiales en la Ciudad de México para la platina. Parte superior: Esfuerzo de cedencia contra densidad. Parte inferior: Esfuerzo de cedencia contra densidad por precio

Con base en la Figura 3-29 se observa que la mejor alternativa de material para la platina son los polímeros por tener el menor peso y costo por volumen, las familias de los posibles polímeros se presentan en la Tabla 3-17. Por lo que se prosiguió a evaluar el espesor mínimo necesario de las familias de polímeros para escoger la mejor alternativa.

Familias de polímeros
PA (Nylon)
PE (Polietileno)

PMMA (Acrilico)
POM (Acetal)
PP (Polipropileno)
PVC

Tabla 3-17 Posibles materiales para la fabricación de la platina

La platina debe deformarse sin rebasar su límite elástico por lo que con base en la ley de Hooke mostrada en la ecuación (58) se observa que al incrementar el módulo de Young la deformación unitaria presentada por el material es menor, por lo que se utilizó el módulo de Young y la densidad de los materiales como último criterio de selección. La información de la densidad y el módulo de Young se presentan en la Tabla 3-18.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (58)$$

Material	Densidad[kg/m ³]	E [GPa]
PA (Nylon)	1130	2.62
PE (Polietileno)	939	0.7
PMMA (Acrilico)	1200	3
POM (Acetal)	1400	3
PP (Polipropileno)	900	1
PVC	1400	3.2

Tabla 3-18 Densidad y módulo de Young de los posibles materiales para fabricar la platina.

Con base en la Tabla 3-18 el mejor material para la platina de entre los posibles polímeros es el Nylon ya que cuenta con un Módulo de Young de 2.62 [GPa] y una densidad de 1130[kg/m³] haciéndolo la opción más resistente y ligera de entre los demás.

Se determinó el ancho máximo de una matriz de aluminio que puede ingresarse a la máquina para ejercer una fuerza de 9810[N] sobre los rodillos con un cambio de espesor de 0.01[mm] y se realizó un análisis de elemento finito para evaluar la deformación que se genera en una placa de nylon de espesor de 6.35 mm, espesor mínimo de las placas comerciales.

Para determinar el ancho máximo se utilizó la ecuación (de fuerza) y se despejó la variable w como se muestra en la ecuación (59).

$$w = \frac{F}{\bar{Y}_f L_C} \quad (59)$$

$$w = \frac{9810[N]}{50.0272[MPa](0.563 \times 10^{-3}[m])} = 0.348[m] = 348[mm]$$

El análisis de elemento finito realizado a la platina se presenta en la Figura 3-30. Donde se observa que el desplazamiento de la platina es mínimo, marcado únicamente con flechas de color azul, por lo que soporta las cargas compresivas para realizar una impresión de calidad. Las flechas de color verde representan la deformación presentada por la sección del grabado en contacto con los rodillos.

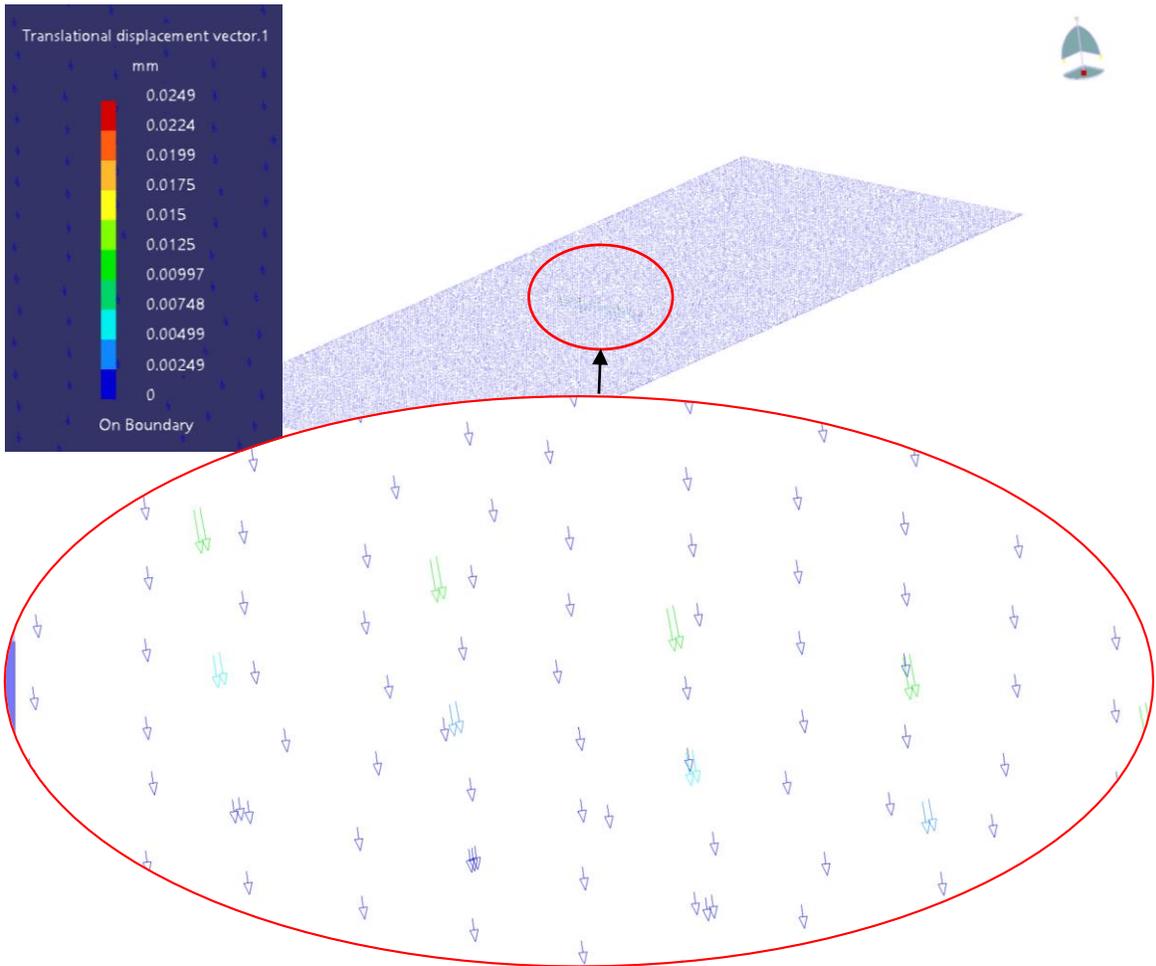


Figura 3-30 Análisis de elemento finito sobre la platina donde se evalúa su deformación durante el proceso de estampado.

Como el tamaño máximo de las placas de Nylon que se venden en la CDMX es de 125x125 cm se implementó el método de ensamblado presentado en la Figura 3-31.

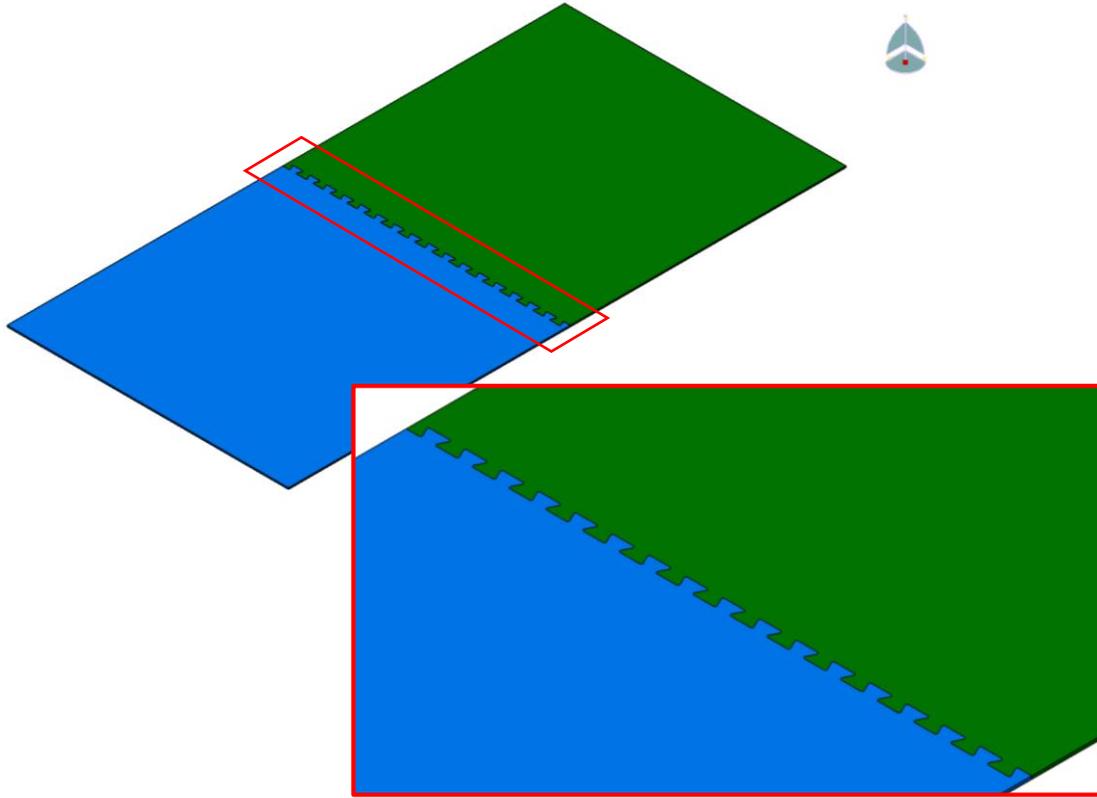


Figura 3-31 Propuesta de fabricación de la platina placas de nylon comerciales

Con los materiales y alternativas de solución definidos se prosiguió a realizar un modelo CAD.

3.4. Especificación del volante y del motor.

En la sección 2.8 se definió que para realizar el proceso de impresión puede utilizarse un volante o un motor para activar el rodillo inferior y de esta forma obtener la estampa como producto final. Para definir el tamaño del volante y la potencia requerida del motor se utilizaron las ecuaciones (5) y (7); y se utilizaron los datos ya especificados de la Tabla 3-19.

Radio del rodillo	31.75 [mm]
Precisión de separación entre rodillos	0.01 [mm]
Fuerza máxima soportada por los rodillos	9810 [N]
Velocidad de impresión	0.9302 [rad/s].

Tabla 3-19 Datos para determinar el tamaño del volante y la potencia requerida por el motor

El espesor de la matriz al momento de realizar una estampa se reduce al momento de pasar entre los rodillos, esta reducción de espesor está limitada por las fuerzas de fricción a la entrada y la salida de los rodillos, la fuerza de fricción debe ser

mayor a la entrada de los rodillos para permitir el desplazamiento de la matriz. Para determinar la reducción máxima permisible se utiliza la ecuación **(60)**, donde μ es el coeficiente de fricción que para procesos de laminado en frío tiene un valor promedio de 0.1 y R es el radio del rodillo.

$$\text{Reducción máxima} = \mu^2 R \quad (60)$$

Al realizar los cálculos correspondientes

$$\text{Reducción máxima} = (0.1)^2(31.75[\text{mm}]) = 0.317[\text{mm}]$$

$$T = 0.5 (9810[\text{N}]) \left(\sqrt{(31.75 \times 10^{-3}[\text{m}]) (0.317 \times 10^{-3}[\text{m}])} \right) = 15.561[\text{Nm}]$$

$$P = 2 \left(0.9302 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \right) (15.561 [\text{Nm}]) = 28.95[\text{W}]$$

Por lo tanto, se requiere ejercer un par de 15.561 [Nm] para poder accionar los rodillos y realizar el proceso de impresión. Se propuso que, para comodidad del usuario, este no ejerza una fuerza mayor a 98.1 [N]. Para determinar el tamaño mínimo del volante se utilizó la ecuación **(61)**, que relaciona el radio del volante y la fuerza del usuario con el par necesario.

$$T = R_{\text{volante}} F_{\text{Del usuario}} \quad (61)$$

Al despejar el radio del volante y sustituir valores

$$R_{\text{volante}} = \frac{15.561[\text{Nm}]}{98.1[\text{N}]} = 0.159[\text{m}]$$

Por lo que el radio mínimo del volante debe ser de 15.9 centímetros. En caso de instalar un motor en lugar de un volante para facilitar el proceso de impresión, este debe tener una potencia mínima de 28.95 Watts o 0.0388 [HP].

3.5. Modelo CAD

En la Figura 3-32 se presenta el modelo CAD de la máquina para la realización de impresiones de grabados en relieve.

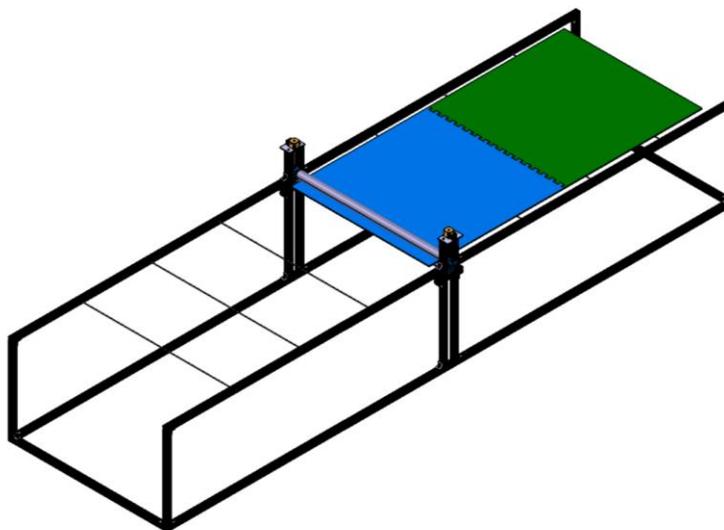


Figura 3-32 Modelo CAD de la máquina para la realización de impresiones artísticas

Las características del diseño final se presentan en la Tabla 3-20.

Característica	Especificación
Carga máxima soportada	9810[N]
Tamaño exterior	1435 x 5136 [mm]
Peso aproximado	70 [kg]
Longitud de rodillo de impresión	1300[mm]
Radio del rodillo de impresión	31.75[mm]
Material de rodillo	Aluminio 6061 T6
Modelo de rodamientos	6004
Perfil estructural de aluminio 6061	Modelo: TM 40-40 Fabricante: Transformadora de Metales
Material de chumaceras	Aluminio 6061
Espesor de platina	6.35[mm]
Material de platina	Nylon
Tamaño de platina	1250 x 2500 [mm]
Tamaño máximo de grabado en relieve	1200 x 2440 [cm]
Espesor de fieltro	3[mm]
Motor a pasos	Nema 23
Tornillo de control	Husillo cuerda ACME T10-2 Diámetro de 10 [mm] Avance de 2 [mm] por vuelta

Tabla 3-20 Especificaciones técnicas del diseño final

En la Figura 3-33 se muestra la posición del sistema de control dentro del conjunto de la máquina completa.

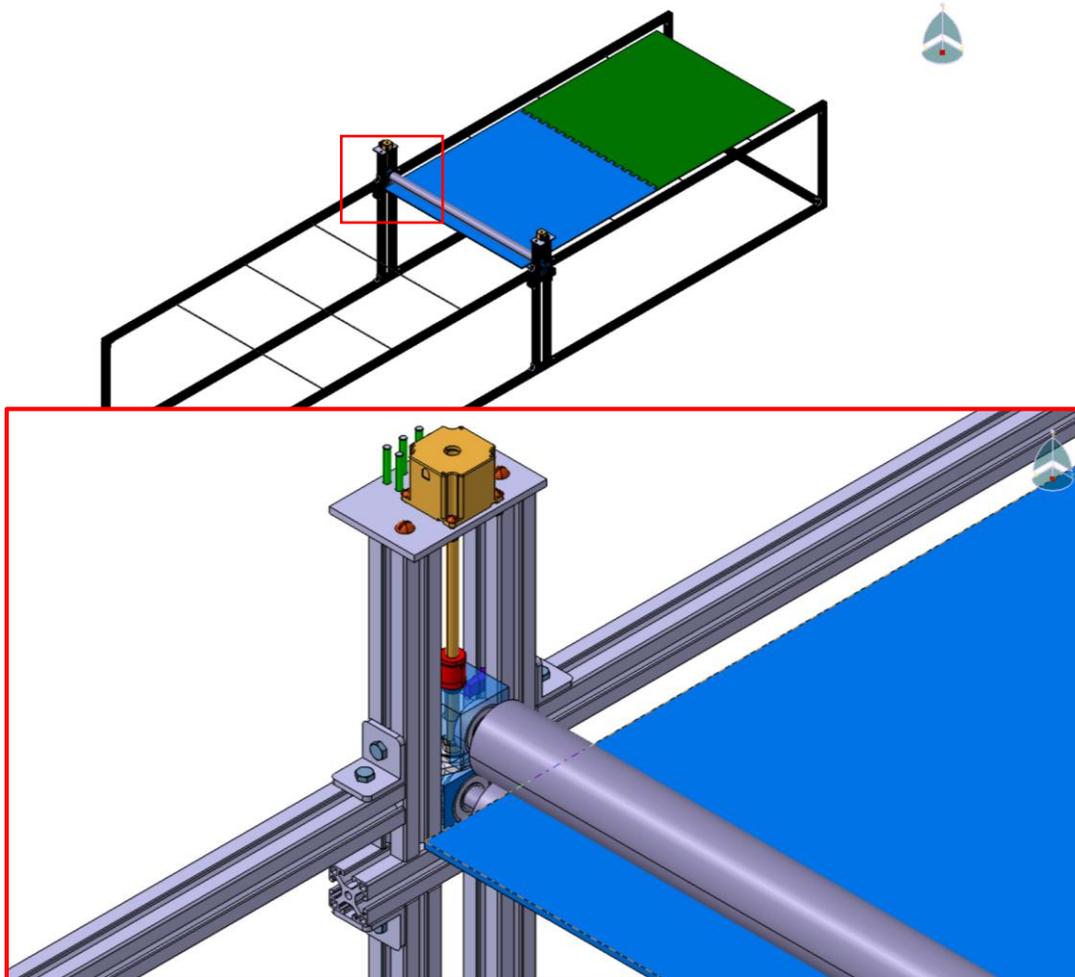


Figura 3-33 Ubicación del sistema de control en el modelo CAD

Una de las principales ventajas del diseño es que el sistema de control puede desacoplarse de la estructura principal como se muestra en Figura 3-34 lo que permite la posibilidad de fabricar modelos más pequeños de máquina con el mismo sistema de control y proporcionar al usuario el tamaño de máquina que mejor se adapte a sus necesidades y recursos.

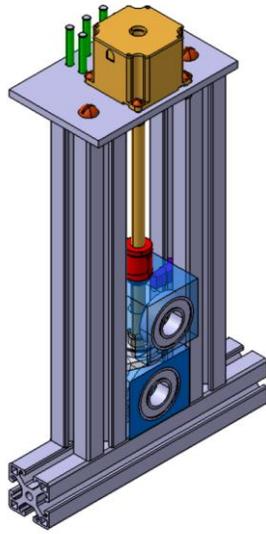


Figura 3-34 Modelo CAD del sistema de control

CAPÍTULO 4

MODELO FUNCIONAL Y PRUEBAS DE IMPRESIÓN

Se fabricó un modelo funcional a escala con base en el tamaño de impresión mínima requerida por las especificaciones del usuario en el capítulo 2, para comprobar que el diseño final definido en el capítulo 3 permite la elaboración de una estampa artesanal con la técnica de grabado en relieve. El modelo funcional se presenta en la Figura 4-1.



Figura 4-1 Fotografía del modelo funcional

Se analizó el uso del control numérico como forma de optimizar el proceso de impresiones artísticas, por lo que se propusieron diversos experimentos para definir sus ventajas.

Las principales características para el uso del modelo funcional se presentan en la Tabla 4-1.

Especificaciones del modelo funcional	
Carga máxima soportada	981 [N]
Tamaño exterior	390 x 600 [mm]
Peso	6.6 [kg]
Longitud de rodillo de impresión	260[mm]
Radio del rodillo de impresión	19.05[mm]
Material de rodillo	Aluminio 6061 T6
Modelo de rodamientos	6004
Perfil estructural de aluminio 6061	Modelo: TM 28-28 Fabricante: Transformadora de Metales

Material de chumaceras	Aluminio 6061
Espesor de platina	6.35[mm]
Material de platina	Nylon
Tamaño de platina	26 x 40 [cm]
Tamaño máximo de grabado en relieve	20 x 30 [cm]
Espesor de fieltro	3[mm]
Motor a pasos	Nema 17
Tornillo de control	Husillo ACME T8-8 Diámetro de 8 [mm] Avance de 8[mm] por vuelta

Tabla 4-1 Especificaciones del modelo funcional

Se presenta gráficamente el proceso de diseño desde la etapa de diseño conceptual hasta la fabricación del modelo a escala para cada sistema, todo el diseño del modelo funcional está basado en el diseño a detalle del capítulo 3.

Sistema Estructural (SE)

El proceso de diseño para el sistema estructural, basado en los resultados del capítulo 3, se presenta en la Figura 4-2. Esta misma representación se realizó para cada uno de los sistemas que conforman la máquina final.

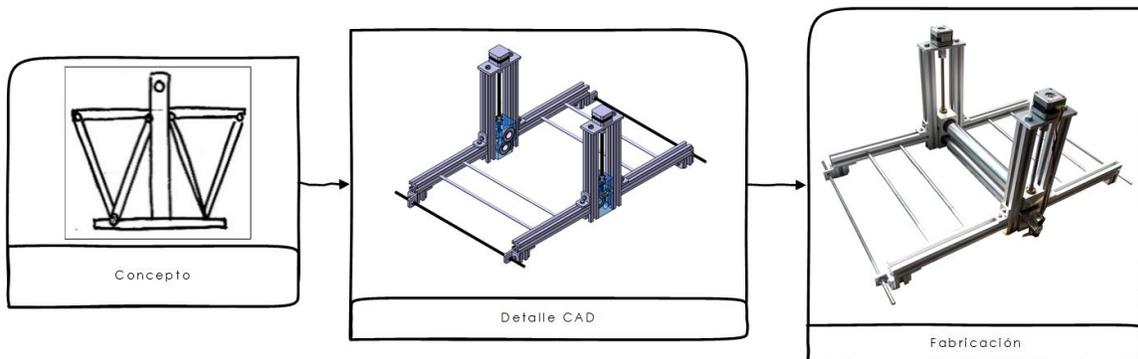
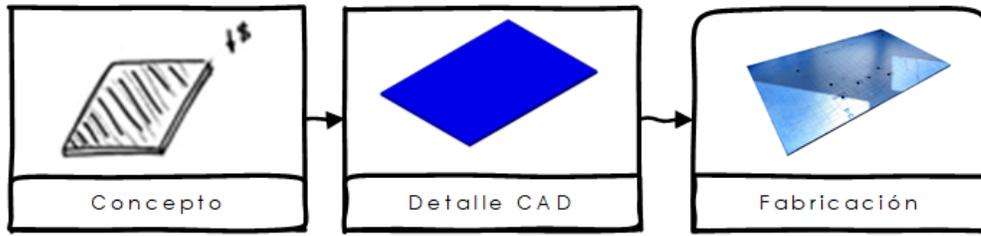


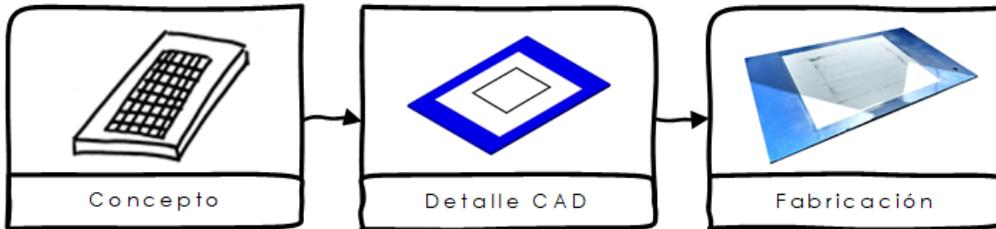
Figura 4-2 Proceso de diseño del modelo funcional

Sistema de soporte de matriz (SSM) y sistema de precisión para la colocación del papel (SPM).

El proceso de diseño para el sistema de soporte de matriz y el sistema de precisión para la colocación del papel se presenta en la Figura 4-3.



Sistema de soporte para la matriz



Sistema de precisión para la colocación de papel

Figura 4-3 Proceso de diseño del sistema de soporte de la matriz y precisión para la colocación del papel

Sistema de desplazamiento (SDA)

El proceso de diseño para el sistema de desplazamiento del modelo funcional se presenta en la Figura 4-4.

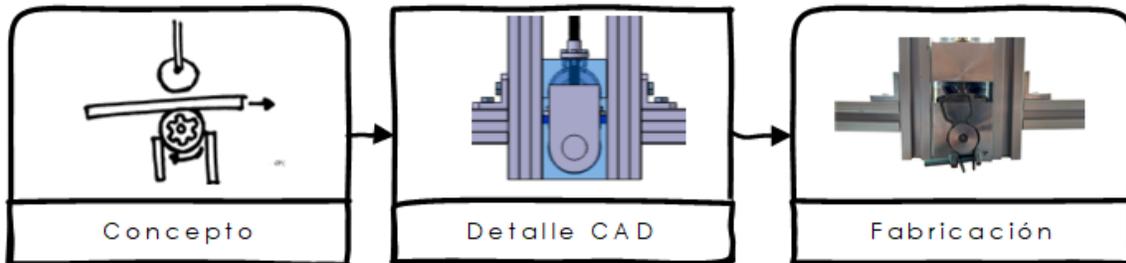


Figura 4-4 Proceso de diseño para el sistema de desplazamiento

Sistema de aplicación de presión (SP)

El proceso de diseño para el sistema de presión del modelo funcional se presenta en la Figura 4-5.

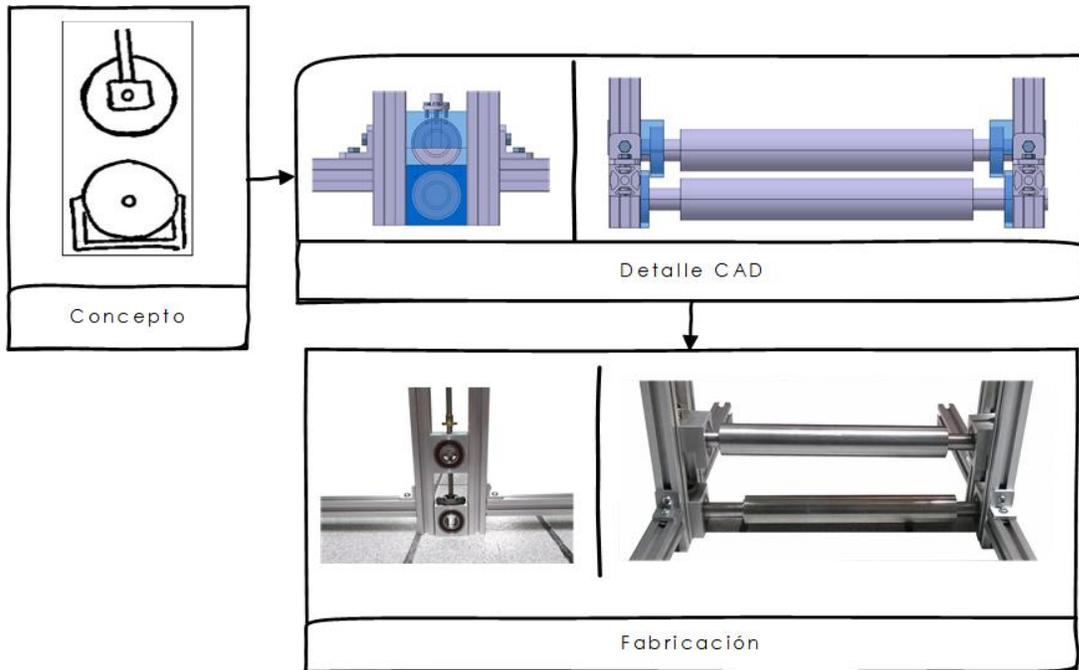


Figura 4-5 Proceso de diseño para el sistema de aplicación de presión

Sistema de control de Presión (SCP)

El proceso de diseño para el sistema de control de presión del modelo funcional se presenta en la Figura 4-6.

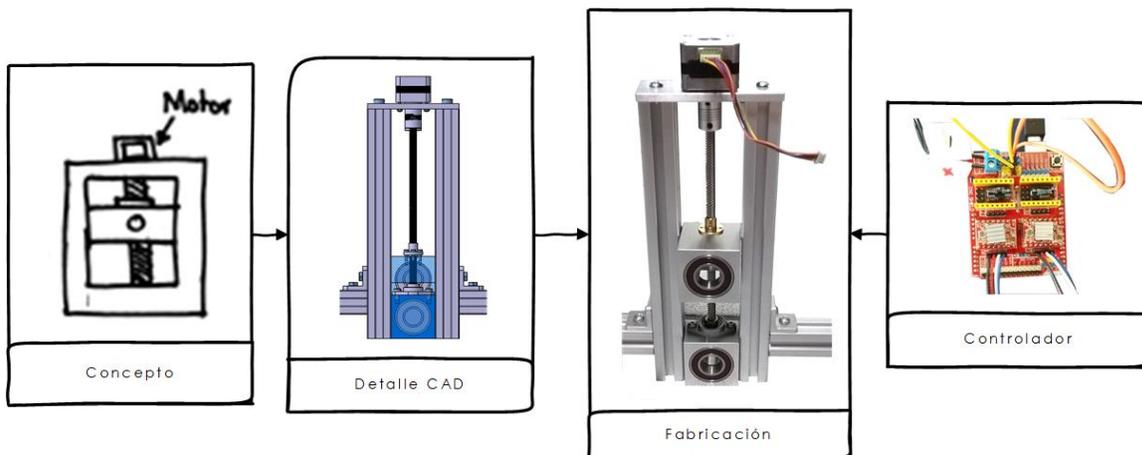


Figura 4-6 Proceso de diseño para el sistema de control de presión

Para el diseño del controlador se utilizó un Arduino UNO® al que se le cargó el firmware de código abierto GRBL y que opera con el CNC Shield. Se utilizaron dos drivers A4988, uno para cada motor.

Sistema de interacción con el usuario (SIU) y Sistema de visualización (SV)

El proceso de diseño para el sistema de interfaz de usuario y el sistema de visualización del modelo funcional se presenta en la Figura 4-7. El software utilizado para las pruebas de impresión fue el Universal G Code Sender V 1.0.9 para ordenador.

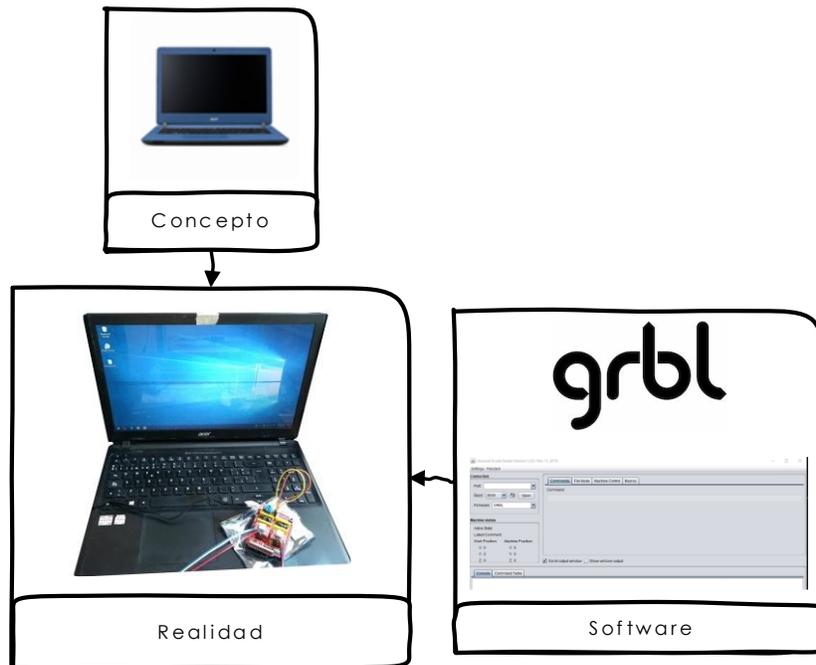


Figura 4-7 Sistema de interacción con el usuario

Una vez fabricado y ensamblado el modelo funcional se prosiguió a realizar las pruebas de estampado.

4.1. Estaciones de trabajo

El proceso de estampado consiste en un modelo sistemático de pasos a seguir y cada etapa se realiza en una estación distinta. El procedimiento de estampado convencional utiliza únicamente dos estaciones, la estación de entintado y la estación de estampado. Para la realización de las pruebas de impresión se creó la estación de control que requiere el prototipo para su funcionamiento. Las estaciones de trabajo se muestran en la Tabla 4-2.

Fotografía	Estación
	Estación de entintado
	Estación de estampado
	Estación de control

Tabla 4-2 Identificación de las estaciones de trabajo

Para realizar las impresiones de estampas se requiere la matriz de grabado en relieve por lo que se describe el procedimiento de la fabricación artesanal de estas.

4.2. Procedimiento para la elaboración de la matriz

4.2.1. Descripción del procedimiento general

Los pasos para realizar una matriz de grabado son: la selección de material con el que se realizará la matriz, la creación del diseño, transferir el diseño a la matriz y finalmente grabar la matriz.

Selección de material para la matriz

Comúnmente el primer paso para la creación de un grabado es la selección del material de la matriz, sin embargo, existen casos en el que, con base al diseño de

dibujo realizado, se selecciona la técnica de grabado y material de la matriz que mejor se adecue a las necesidades de expresión del artista.

Existen diferentes criterios para seleccionar el material de una matriz, entre ellos están: la técnica de grabado a realizar, la facilidad de trabajo, el tiempo de trabajo, las herramientas de trabajo, la facilidad de entintado, factores económicos, aprovechamiento de los materiales, el diseño que se quiera realizar, el acabado del estampado y la textura del estampado. En la Tabla 4-3 se presentan algunos ejemplos de materiales para matrices de grabado, la técnica en la que se usan y la descripción de su utilidad,

Material	Técnica	Tipo de Grabado
Madera	Xilografía	Grabado en relieve
Descripción		
Es el material más utilizado para el grabado. La madera puede trabajarse tanto con gubias para madera como herramientas rotativas (Dremel), se utiliza principalmente para diseños de alto contraste y achurado. Los artistas prefieren el MDF para diseños lisos y utilizan hojas de triplay para darle una textura natural a su diseño final. Es fácil de trabajar y las hojas de mayor espesor pueden albergar un grabado de cada lado. No es recomendable para diseños con líneas muy finas.		
Material	Técnica	Tipo de grabado
Linóleo	Lino grabado	Grabado en relieve
Descripción		
Es un material creado a base de aceite de lino mezclado con harina de madera o polvo de corcho que se utiliza principalmente como recubrimiento para la fabricación de pisos. El linóleo es un material suave por lo que es muy cómodo de trabajar, es recomendable trabajarlo únicamente con gubias para madera. Se adhiere a un soporte de madera para poder realizar la impresión de la estampa. Al igual que la madera no es recomendable para la realización de diseños con trazos finos.		
Material	Técnica	Tipo de grabado
Cobre	Aguafuerte	Grabado en Hueco
Descripción		
El aguafuerte es una técnica de grabado en hueco realizada en cobre que consiste en aplicar una resina protectora sobre la lámina de cobre y posteriormente bañarla en ácido nítrico. El ácido actuará sobre las secciones de la lámina de cobre sin protección creando huecos o surcos donde posteriormente se alojará la tinta para la impresión del diseño o dibujo.		
El uso del cobre y la técnica de aguafuerte permiten obtener un grabado duradero con el tiempo, el uso de líneas finas para el diseño y texturas acuosas. Sin embargo, los materiales utilizados en este proceso requieren una inversión económica mayor que el uso de madera como matriz, el tiempo de elaboración es mayor y sin la posibilidad de corregir imperfectos una vez terminada la matriz.		

Material	Técnica	Tipo de Grabado
Aluminio	Punta seca	Grabado en Hueco
Descripción		
<p>El aluminio es el principal material utilizado para la técnica de punta seca. Consiste en utilizar una punta de acero para rayar una lámina de aluminio y de esta forma se crean los huecos o surcos que darán forma al diseño realizado. La tinta se aloja en estos huecos para posteriormente estampar la imagen. Permite utilizar líneas finas asemejándose a un trazo hecho a lápiz.</p> <p>La punta seca es uno de los procedimientos más rápidos para la realización de una matriz, sin embargo, es un procedimiento en el que constantemente se deben remarcar los surcos para seguir obteniendo impresiones de calidad ya que debido al proceso de estampado y las presiones que se maneja la matriz de aluminio sufre un proceso de deformación que disminuye la profundidad del surco o hueco y de esta forma disminuye la cantidad de tinta almacenada.</p>		
Material	Técnica	Tipo de Grabado
Piedra calcárea	Litografía	Grabado en plano
Descripción		
<p>La técnica de la litografía consiste en realizar un dibujo o diseño sobre una piedra calcárea o piedra porosa, utilizando lápices o tintas grasas. Se elabora una mezcla de agua, goma rabia y ácido nítrico que se unta sobre la piedra y el dibujo trazado; la mezcla se fijará únicamente sobre las zonas grasas que rechazan el agua. Una vez seca la mezcla se limpia la piedra con disolvente eliminando los restos y dejando el dibujo trazado.</p> <p>Durante el proceso de entintado, la tinta únicamente se fijará o quedará en las secciones grasas previamente tratadas. Esta técnica permite realizar impresiones de cualquier diseño o dibujo que se realice e incluso permite la utilización de diferentes colores de tinta en una misma copia. Sin embargo esta técnica es actualmente poco utilizada y los materiales son caros.</p>		

Tabla 4-3 Tabla de materiales para matrices y descripción de alguna técnicas

Creación del diseño

La creación de la propuesta artística y diseño es una de las etapas más importantes al momento para fabricar una matriz o grabado. Ya que se debe tener en cuenta la técnica a utilizar y las herramientas con las que se cuenta. Con base en estos dos aspectos se determina la fineza del trazo, sombras y composición artística que se adapten mejor al procesamiento del material de la matriz.

Transferir el diseño a la matriz

Para transferir el diseño a la matriz este puede dibujarse directamente en la misma teniendo en consideración que si se ha realizado un diseño con palabras o letras,

estas deben de trabajarse con una perspectiva en espejo sobre la matriz, ya que al momento de realizar el procedimiento de impresión o estampado, la imagen de la estampa se invierte como se muestra en la Figura 4-8



Figura 4-8 Grabado y su estampa

Realización del grabado

La realización del grabado depende directamente de la técnica de grabado que el artista seleccionó como medio de expresión para su propuesta algunos ejemplos de cómo realizar estas técnicas se presentan en la Tabla 4-3.

4.2.2.Fabricación de matrices para pruebas de impresión.

El procedimiento para la fabricación de los grabados con los que se realizaron las pruebas de funcionamiento y experimentos del prototipo de una máquina para la realización de impresiones artísticas se presenta en la Figura 4-9. Se seleccionó una matriz de macocel comercial de 3 milímetros de espesor y dimensiones de 15 por 20 centímetros, que se adapta perfectamente a las dimensiones de operación del prototipo.

Se utilizaron dos propuestas de diseño presentadas en la Figura 4-10, de lado izquierdo se presenta la expresión en japonés “Mono no aware” y de lado derecho una imagen del jing y el jang. Las guías para realizar el proceso de grabado se crearon mediante un proceso llamado “transfer” el cual se describe detalladamente en la sección de “Pruebas de transfer” en el apartado **Pruebas de funcionamiento y experimentación.**



Figura 4-9 Proceso de fabricación de las matrices

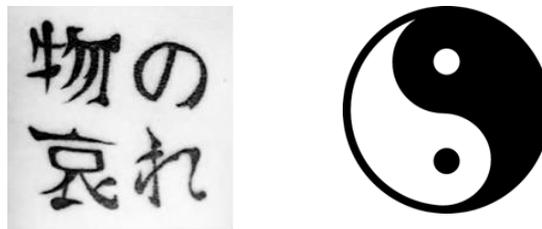


Figura 4-10 Diseños de las matrices

El procedimiento de grabado se realizó utilizando las gubias para madera como las mostradas en la Figura 4-11.



Figura 4-11 Gubias

Se elaboraron dos grabados utilizando los conceptos artísticos de negro sobre blanco y blanco sobre negro, el primer grabado mostrado de lado izquierdo de la Figura 4-12 es un blanco sobre negro, que consiste en que la imagen sea formada principalmente por las zonas sin tinta; el segundo grabado mostrado es negro sobre blanco y consiste en que la imagen se defina por las secciones que contienen la tinta.

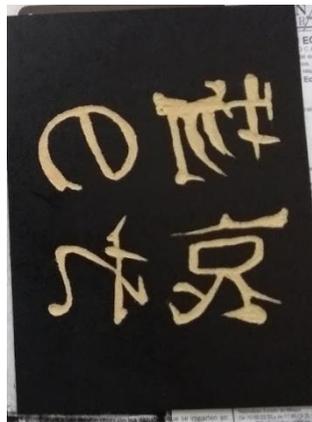


Figura 4-12 Matrices fabricadas

4.3. Descripción de la etapa de pruebas para impresión

En esta etapa se define la presión requerida para producir una estampa de calidad en función de la separación de los rodillos, por lo que es la etapa crucial en la que se puede dañar la matriz si se aplica presión de más o desperdiciar muchos recursos como papel y tinta al realizar muchas pruebas para determinar la presión ideal.

Se describe el procedimiento seguido para determinar la separación óptima de los rodillos para realizar las pruebas de impresión en el modelo funcional.

Procedimiento convencional

Las máquinas comerciales para la realización de impresiones artísticas con técnicas de grabado tienen un sistema manual para cambiar la distancia entre los rodillos de presión. El sistema consiste en la manipulación de dos tornillos ubicados en los extremos de la máquina y convencionalmente el usuario cuenta las vueltas que gira cada tornillo para mover el rodillo superior a la posición que generará la presión necesaria para realizar una impresión de la calidad deseada.

En la etapa de pruebas el usuario ajusta la máquina en una posición previamente conocida o empírica si se tiene la experiencia con el uso de la máquina, diferentes espesores de matrices y material con el que está fabricada la matriz. Se realiza el entintado de la matriz, se posiciona sobre la platina, se coloca un papel de prueba y se prosigue a pasar todo el conjunto entre los rodillos.

Se observa el resultado de la estampa y con base en esta, si se determina que la presión no es la suficiente el usuario prosigue a apretar los tornillos con los que controla la separación de los rodillos de presión. En caso contrario, si la presión es excesiva el conjunto no ingresará entre los rodillos, aunque el usuario ponga todo su empeño; otro caso de presión excesiva es que el usuario requiera demasiada fuerza para que el conjunto cruce entre los rodillos, convirtiendo el procedimiento en algo agotador para el usuario.

Este procedimiento debe repetirse una y otra vez hasta que la estampa obtenida cumpla con las expectativas del usuario. Un artista experimentado invierte menor tiempo en realizar este procedimiento que un artista aprendiz.

Procedimiento utilizado para las pruebas de funcionamiento

El procedimiento utilizado con el prototipo construido es una variación del procedimiento convencional ya que el prototipo cuenta con un sistema de control numérico para regular la distancia entre los rodillos. El proceso para encontrar la presión óptima para la realización de una estampa que satisfaga al usuario se presenta en la Figura 4-13.

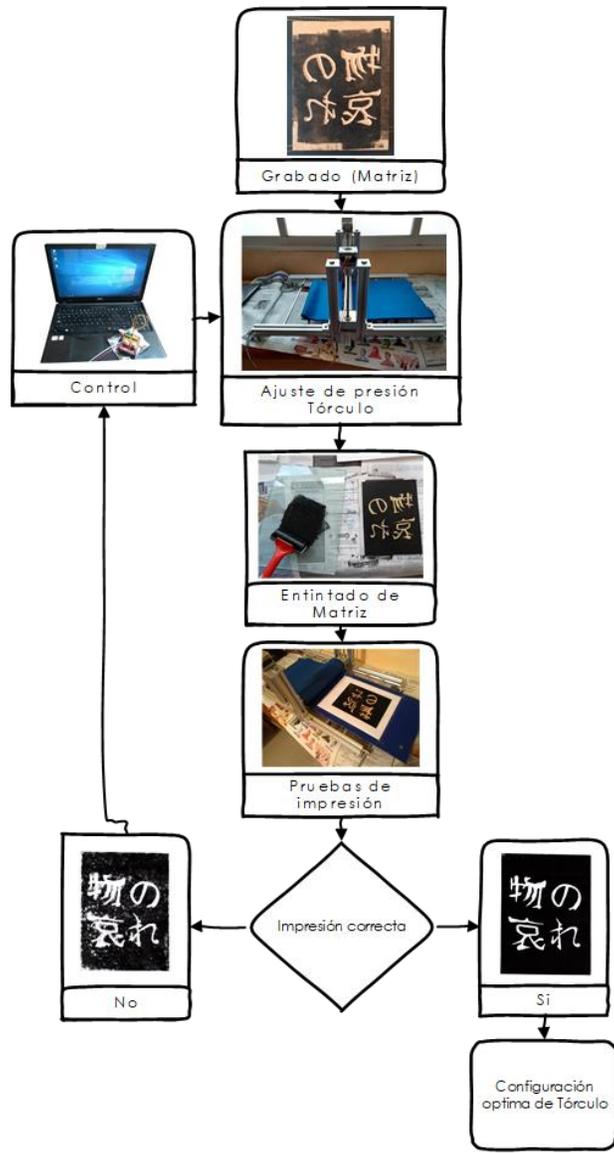


Figura 4-13 Proceso de impresión de estampa piloto

4.4.Descripción de la etapa de impresión de tiraje

El procedimiento utilizado para la impresión de un tiraje artístico hecho con el prototipo es igual al procedimiento convencional, la diferencia es que el prototipo ajusta la distancia entre los rodillos de presión por medio de control numérico y en las máquinas convencionales esta distancia es ajustada manualmente por el usuario. Este proceso se muestra en el Figura 4-14.

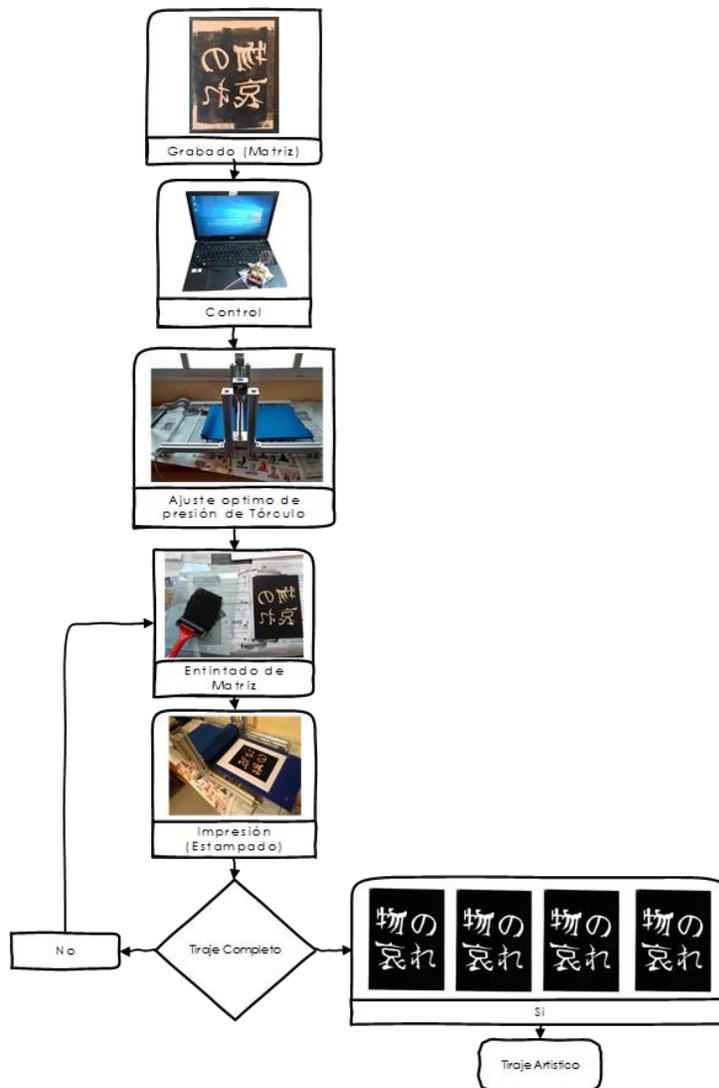


Figura 4-14 Proceso de impresión de tiraje de estampas

4.5. Configuración del sistema de control

4.5.1. Uso del Software de control

Esta sección está dedicada a explicar la forma en la que se utilizó el software de código abierto Universal G Code Sender V 1.0.9 para su aplicación en el sistema de control, visualización y de interacción con el usuario. Para poder utilizar el software se requiere tener instalada la versión más reciente de JAVA.

Al iniciar el programa se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 4-15. La sección en rojo muestra las configuraciones de conexión, la posición actual de la máquina, la sección en verde las opciones con las que podemos interactuar con el programa de las cuales solo se utilizaron la pestaña de comandos y control

de la máquina; y la sección en violeta muestra el resumen de operaciones realizado por la máquina.

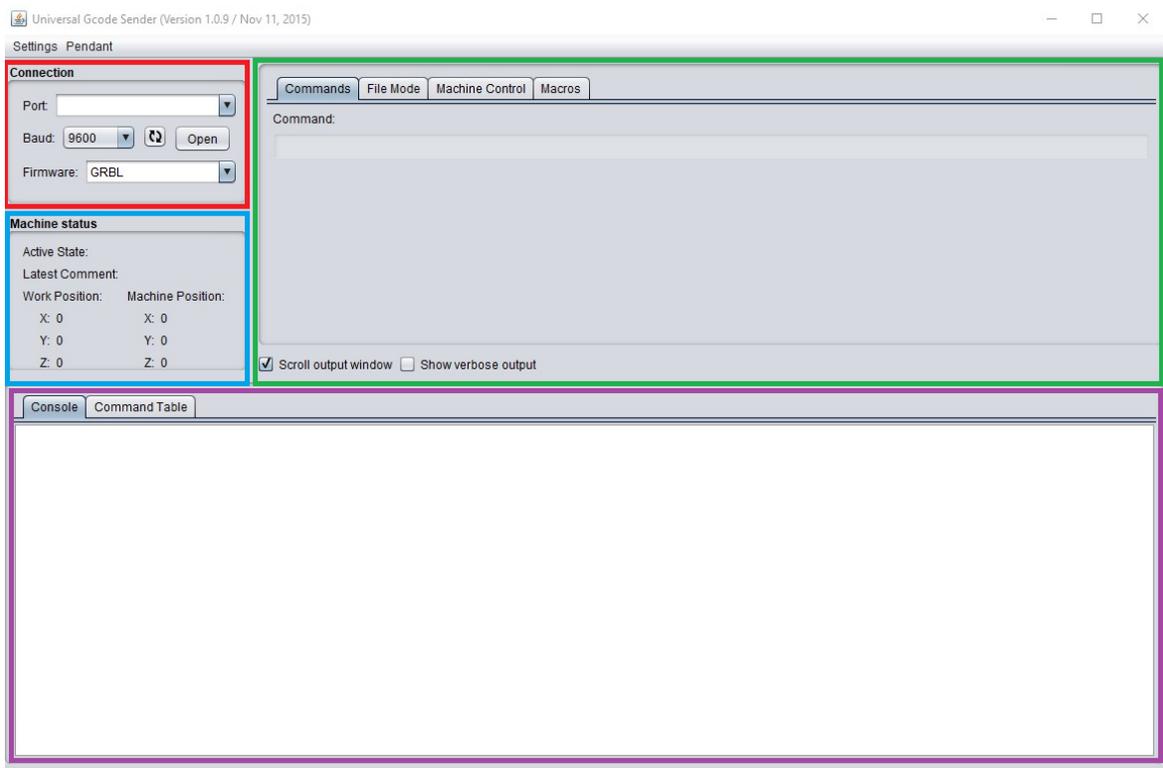


Figura 4-15 Interfaz del software de control

Configuración del software

Al conectar el Arduino a la PC se configuraron las opciones de conexión como se muestran en la Figura 4-16. Donde en Port se selecciona el puerto con el que el PC identifica el Arduino. EL Baud se configura en 115200 y se selecciona el firmware GRBL el cual se instaló en el Arduino. Configurados los parámetros se oprime el botón Open.

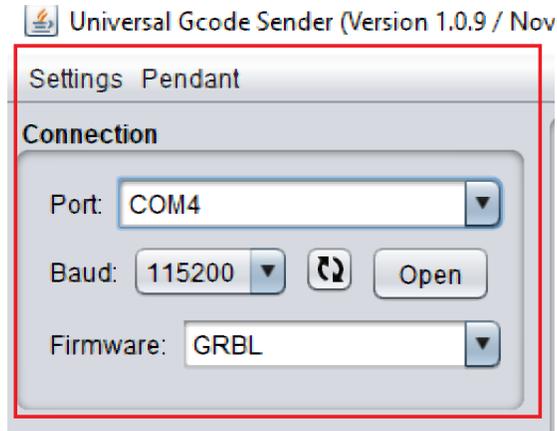


Figura 4-16 Interfaz de conexión con el Arduino UNO®

Realizado este procedimiento, en la sección de consola indicado con un recuadro violeta en la Figura 4-15, un texto indicará que la conexión ha sido exitosa como se muestra en el recuadro rojo de la Figura 4-17. En la línea de comando se ingresa el texto “\$\$” y después se oprime la tecla “enter” como se muestra en el recuadro verde, para visualizar en la sección de consola la configuración actual de la máquina y los comandos para modificar los parámetros de operación.

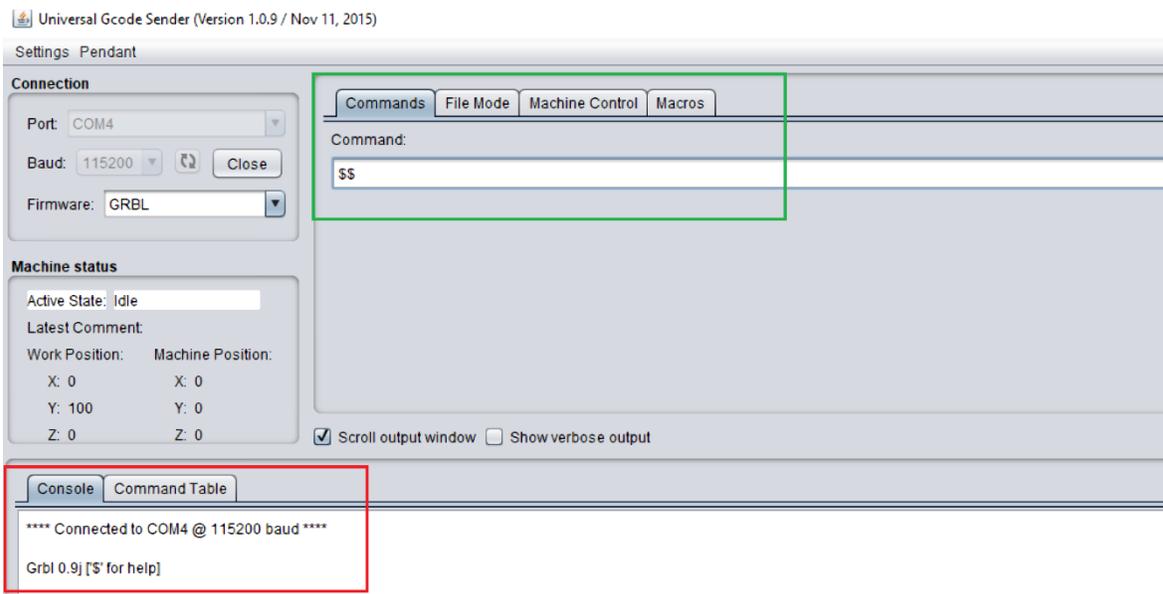


Figura 4-17 Indicación de conexión exitosa y comando para administrar parámetros de control del software

Dentro de la configuración de la máquina, mostrada en la Figura 4-18, se observa que se puede modificar parámetros de pasos por milímetro, velocidad de desplazamiento, aceleración de los motores, etc. Estas configuraciones para cada una de las direcciones de desplazamiento x, y, z. Ya que es un programa para la operación de máquinas por control numérico.

```

**** Connected to COM4 @ 115200 baud ****

Grbl 0.9j ['$ for help]
>>> $$
$0=10 (step pulse, usec)
$1=25 (step idle delay, msec)
$2=0 (step port invert mask:00000000)
$3=0 (dir port invert mask:00000000)
$4=0 (step enable invert, bool)
$5=0 (limit pins invert, bool)
$6=0 (probe pin invert, bool)
$10=3 (status report mask:00000011)
$11=0.010 (junction deviation, mm)
$12=0.002 (arc tolerance, mm)
$13=0 (report inches, bool)
$20=0 (soft limits, bool)
$21=0 (hard limits, bool)
$22=0 (homing cycle, bool)
$23=0 (homing dir invert mask:00000000)
$24=25.000 (homing feed, mm/min)
$25=500.000 (homing seek, mm/min)
$26=250 (homing debounce, msec)
$27=1.000 (homing pull-off, mm)
$100=25.000 (x, step/mm)
$101=25.000 (y, step/mm)
$102=250.000 (z, step/mm)
$110=500.000 (x max rate, mm/min)
$111=1000.000 (y max rate, mm/min)
$112=500.000 (z max rate, mm/min)
$120=10.000 (x accel, mm/sec^2)
$121=200.000 (y accel, mm/sec^2)
$122=10.000 (z accel, mm/sec^2)
$130=200.000 (x max travel, mm)
$131=200.000 (y max travel, mm)
$132=200.000 (z max travel, mm)
ok

```

Figura 4-18 Lista de los parámetros de control

El prototipo construido cuenta dos motores que controlan el desplazamiento de los rodillos de presión única mente en la dirección “Y” Por lo que los únicos parámetros que deben configurarse se muestran en la Tabla 4-4. Para cambiar el parámetro se debe ingresar el código de parámetro seguido por el símbolo igual y el valor al cual quiere modificarse en la línea de comando.

Código de parámetro	Variable
\$101	Pasos por milímetro en eje Y [y, pasos/mm]
\$111	Velocidad de desplazamiento en Y [y, mm/min]]
\$121	Aceleración en Y [y, mm/seg^2]

Tabla 4-4 Variables manipuladas en el software de control para calibrar los motores del modelo funcional

Al seleccionar la pestaña “Machine Control”, sección marcada con el recuadro verde en la Figura 4-17, se observa la sección mostrada en Figura 4-19. En esta sección se puede operar el desplazamiento de la máquina con los botones indicados con el recuadro rojo, la máquina se desplaza la distancia en milímetros ingresada en el cuadro de “Step size”. En la sección indicada con el recuadro verde de la Figura 4-19 se observa la posición de la máquina

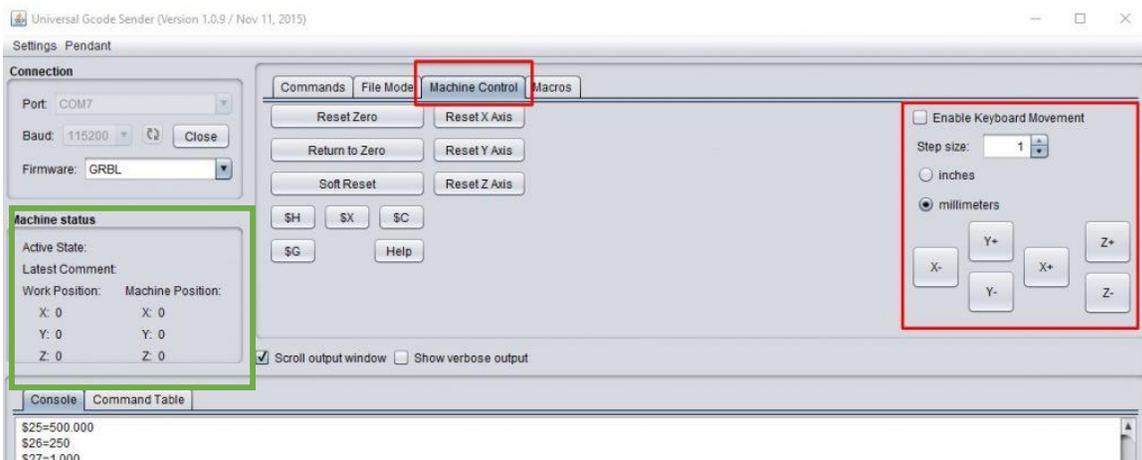


Figura 4-19 Interfaz interactiva para controlar el modelo funcional

Los motores se conectaron de tal forma que al presionar el botón de “Y-” la distancia entre los rodillos de presión incrementaba, se realiza el proceso de reducción de presión, y al presionar el botón de “Y+” la distancia entre los rodillos disminuía, realizando el proceso de incremento de presión. Estas operaciones se ejemplifican en la Figura 4-20.

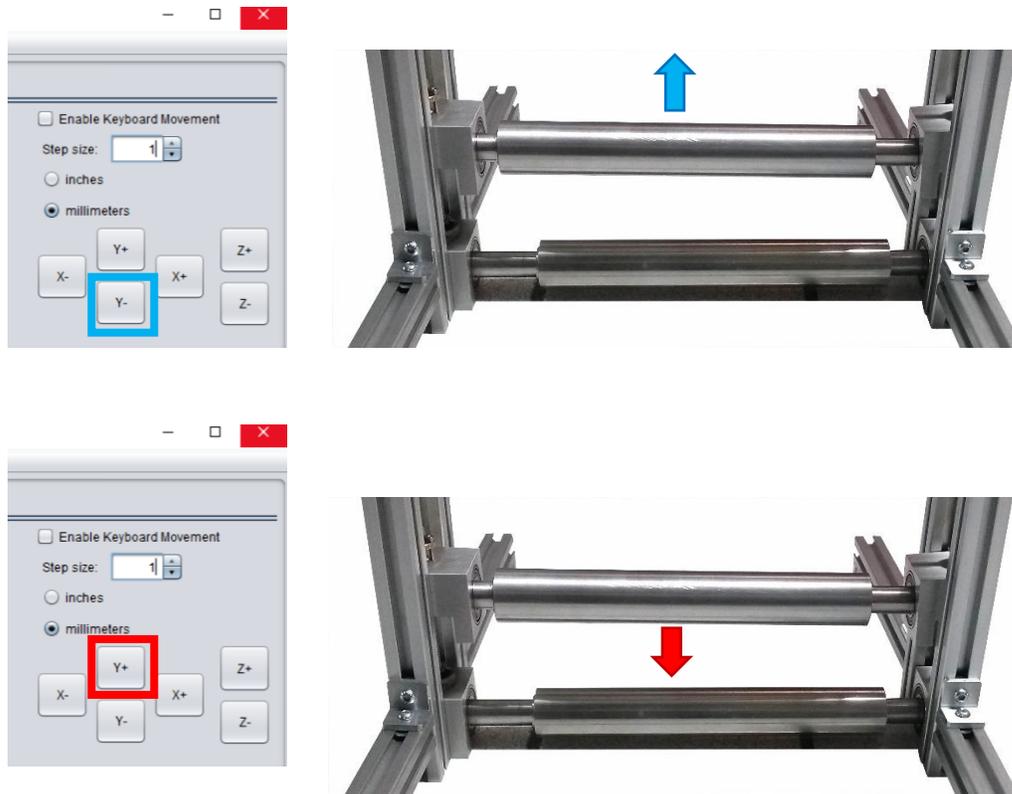


Figura 4-20 Relación de movimiento entre el modelo funcional y los comandos ingresados en el software de control

4.5.2. Calibración de los Motores

Determinación del parámetro de pasos por milímetro

Las especificaciones de los motores Nema 17 indican que por cada paso el motor gira 1.8 grados, por lo que para obtener el número de pasos por vuelta se realiza la operación de la ecuación (62). El fabricante del tornillo ACME indica que el avance por vuelta es de 8mm por lo que se realiza la operación de la ecuación (63). Se obtiene que el valor del parámetro de pasos por milímetro es igual a 25.

$$\frac{360[\text{Grados/vuelta}]}{1.8[\text{Grados/Paso}]} = 200[\text{Pasos/Vuelta}] \quad (62)$$

$$\frac{200[\text{Pasos/Vuelta}]}{8[\text{milímetros/Vuelta}]} = 25[\text{Pasos/milímetro}] \quad (63)$$

Se determinó que el valor del parámetro de pasos por milímetro es igual a 25.

Durante las primeras pruebas de funcionamiento del sistema de control de presión se observó que la distancia recorrida por el rodillo superior no era igual al desplazamiento programado en el software, por lo que se realizaron pruebas modificando los parámetros mostrados en la Tabla 4-5 para encontrar la configuración que permite un avance preciso.

Pasos por milímetro
Avance programado
Velocidad de desplazamiento
Aceleración

Tabla 4-5 Parámetros modificados para las pruebas de calibración de los motores

Para cada prueba se midió la distancia entre la chumacera superior y la chumacera inferior de ambas torres como valor de referencia de la posición inicial, se programó un avance de 20 milímetros, se inició el proceso de apertura de rodillos, se midió la distancia entre chumaceras superiores e inferiores de la posición final y se determinó la carrera recorrida.

El procedimiento se realizó a la inversa, tomando como posición inicial la posición final de la medición anterior y se inició el proceso de cierre de rodillos con un avance programado de 20 milímetros. De esta forma se obtuvo la carrera recorrida durante el proceso de apertura y cierre, estos valores se compararon con el avance programado. La distancia medida se presenta en la Figura 4-21.

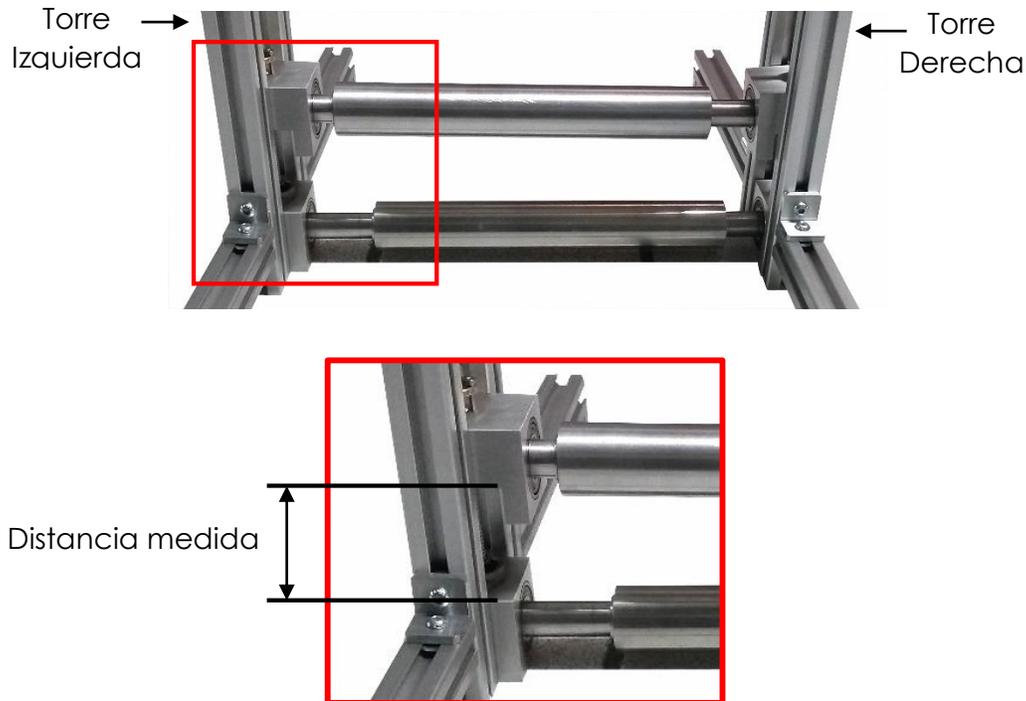


Figura 4-21 Distancia medida para calibrar el desplazamiento de los rodillos

Prueba 1

Los ajustes del control de motores para la prueba 1 se presentan en la Tabla 4-6.

Pasos por milímetro	25 [Pasos/mm]
Avance programado	20 [mm]
Velocidad	400 [mm/min]
Aceleración	10 [mm/seg ²]

Tabla 4-6 Ajustes de la prueba 1

La distancia medida entre las chumaceras al abrir para la prueba 1 se presentan en la Tabla 4-7.

Posición Inicial		Posición Final		
Torre [mm]	Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
	26.1	26.1	40.9	40.9
Carrera				
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]		
14.8		14.8		

Tabla 4-7 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 1

La distancia medida entre las chumaceras al cerrar para la prueba 1 se presentan en la Tabla 4-8.

Posición Inicial		Posición Final		
Torre [mm]	Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
	40.9	40.9	26.1	26.1
Carrera				
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]		
14.8		14.8		

Tabla 4-8 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 1

Prueba 2

Se observó en la prueba 1 que la carrea es menor que el avance programado por lo que se modificó el parámetro de pasos por milímetro a uno mayor.

Los ajustes del control de motores para la prueba 2 se presentan en la Tabla 4-9.

Pasos por milímetro	33 [Pasos/mm]
Avance programado	20 [mm]
Velocidad	400 [mm/min]
Aceleración	10 [mm/seg ²]

Tabla 4-9 Ajustes de la prueba 2

La distancia medida entre las chumaceras al abrir para la prueba 2 se presentan en la Tabla 4-10.

Posición Inicial		Posición Final	
Torre [mm]	Torre Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Derecha [mm]
	26.1	26.1	53.9
		52.9	53.9
Carrera			
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]	
26.8		27.8	

Tabla 4-10 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 2

La distancia medida entre las chumaceras al cerrar para la prueba 2 se presentan en la Tabla 4-11.

Posición Inicial		Posición Final	
Torre [mm]	Torre Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Derecha [mm]
	52.9	53.9	34.3
		33.5	34.3
Carrera			
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]	
19.4		19.6	

Tabla 4-11 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 2

Prueba 3

En la prueba 2 se observó que la carrera durante el proceso de separación de los rodillos es mayor al avance programado, además de presentar variaciones significativas en recorrido entre torres y entre el proceso de apertura y cierre de los rodillos. Por lo que modificó el parámetro de pasos por milímetro a uno menor que la prueba 2 pero mayor que la prueba 1.

Los ajustes del control de motores para la prueba 3 se presentan en la Tabla 4-12.

Pasos por milímetro	28 [Pasos/mm]
Avance programado	20 mm
Velocidad	400 [mm/min]
Aceleración	10 [mm/seg ²]

Tabla 4-12 Ajustes de la prueba 3

La distancia medida entre las chumaceras al abrir para la prueba 3 se presentan en la Tabla 4-13.

Posición Inicial		Posición Final	
Torre [mm]	Torre Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Derecha [mm]
	32	32	56
		56	56
Carrera			

Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
24	24

Tabla 4-13 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 3

La distancia medida entre las chumaceras al cerrar para la prueba 3 se presentan en la Tabla 4-14.

Posición Inicial		Posición Final	
Torre [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]	Torre Derecha [mm]
	56	56	40
			40
Carrera			
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]	
	16		16

Tabla 4-14 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 3

Prueba 4

Se observa en la información de la prueba 3 que la diferencia entre la carrera real y el avance programado continúa siendo significativa, además de seguir presentando grandes variaciones entre el desplazamiento ascendente y el descendente del rodillo superior. Por lo que se decidió disminuir el parámetro de pasos por milímetro a 26 y también modificar los parámetros de velocidad y aceleración para observar como influían en el avance.

Los ajustes del control de motores para la prueba 4 se presentan en la Tabla 4-15.

Pasos por milímetro	26 [Pasos/mm]
Avance programado	20 mm
Velocidad	350 [mm/min]
Aceleración	8 [mm/seg ²]

Tabla 4-15 Ajustes de la prueba 4

La distancia medida entre las chumaceras al abrir para la prueba 4 se presentan en la Tabla 4-16.

Posición Inicial		Posición Final	
Torre [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]	Torre Derecha [mm]
	46.8	46.8	65.9
			65.9
Carrera			
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]	
	19.1		19.1

Tabla 4-16 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 4

La distancia medida entre las chumaceras al cerrar para la prueba 4 se presentan en la Tabla 4-17.

Posición Inicial		Posición Final	
Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
65.9	65.9	50	50
Carrera			
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]	
15.9		15.9	

Tabla 4-17 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 4

Al comparar los resultados de la prueba 1 con la 4 se observó que al modificar los parámetros de velocidad y aceleración crean una diferencia significativa entre el avance programado y el desplazamiento real. Por lo que se realizó una prueba de velocidad para observar el comportamiento de los motores cuando se programaba una velocidad baja y una velocidad alta y determinar si es mejor incrementar la velocidad o reducirla.

Prueba de velocidad

Los resultados de la prueba de velocidad se presentan en la Tabla 4-18.

		
Parámetro de velocidad [mm/min]	100	1000
Observaciones	Con un parámetro de velocidad baja se observó que la información se transmitió a	Con un parámetro de velocidad alta se observó que al mandar la información del software a los motores estos iniciaban la

	los motores, pero estos no iniciaron la rotación.	rotación de inmediato. Además se observó que no se presentó el efecto de pausar por un instante el movimiento como se había estado observando durante las pruebas uno a 4.
--	---	--

Tabla 4-18 Observaciones de la prueba de velocidad

Prueba 5

Con la información de la prueba de velocidad se determinó que para que los motores funcionaran correctamente y desplazar el rodillo superior exactamente el avance programado se debe utilizar un valor para la velocidad elevado. Se ajustó el valor de pasos por milímetro a lo calculado y se utilizó un valor de 1000 [mm/min].

Los ajustes del control de motores para la prueba 5 se presentan en la Tabla 4-19

Pasos por milímetro	25 [Pasos/mm]
Avance programado	20 mm
Velocidad	1000 [mm/min]
Aceleración	15 [mm/seg ²]

Tabla 4-19 Ajustes de la prueba 5

La distancia medida entre las chumaceras al abrir para la prueba 5 se presentan en la Tabla 4-20.

Posición Inicial		Posición Final		
Torre [mm]	Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
	52.5	52.5	62.5	62.5
Carrera				
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]		
	10		10	

Tabla 4-20 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 5

La distancia medida entre las chumaceras al cerrar para la prueba 5 se presentan en la Tabla 4-21.

Posición Inicial		Posición Final		
Torre [mm]	Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
	62.5	62.5	55.5	55.5
Carrera				
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]		
	7		7	

Tabla 4-21 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 5

Prueba 6

En la prueba 5 se observó que el avance programado y el desplazamiento real aún no coincidían, por lo que se modificó únicamente el parámetro de aceleración uno mayor.

Los ajustes del control de motores para la prueba 6 se presentan en la Tabla 4-22.

Pasos por milímetro	25 [Pasos/mm]
Avance programado	20 mm
Velocidad	1000 [mm/min]
Aceleración	200 [mm/seg ²]

Tabla 4-22 Ajustes de la prueba 6

La distancia medida entre las chumaceras al abrir para la prueba 6 se presentan en la Tabla 4-23.

Posición Inicial		Posición Final		
Torre [mm]	Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
	50.5	50.5	70.5	70.5
Carrera				
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]		
	20		20	

Tabla 4-23 Distancia medida al separarse los rodillos de la prueba 6

La distancia medida entre las chumaceras al cerrar para la prueba 6 se presentan en la Tabla 4-24.

Posición Inicial		Posición Final		
Torre [mm]	Izquierda	Torre Derecha [mm]	Torre Izquierda [mm]	Torre Derecha [mm]
	70.5	70.5	50.5	50.5
Carrera				
Torre Izquierda [mm]		Torre Derecha [mm]		
	20		20	

Tabla 4-24 Distancia medida al acercarse los rodillos de la prueba 6

Conclusión de la etapa de calibración de los motores.

La configuración de la prueba 6 resultó exitosa ya que presenta un desplazamiento preciso y acorde al avance programado tanto en el movimiento ascendente como en el descendente de los rodillos, por lo que esta es la configuración a utilizar para las pruebas de impresión.

Se empezó por ajustar el valor de pasos por milímetro, lo cual permitió observar un cambio en el desplazamiento de los rodillos, sin embargo, este desplazamiento fue

irregular tanto para el movimiento ascendente y descendente del rodillo superior Como se observa de la prueba 1 a la 3.

Se observó que el modificar el valor de los pasos por milímetro no permitía obtener un desplazamiento preciso por lo que se retomó el valor original resultado del cálculo de desplazamiento.

Se realizaron pruebas modificando la velocidad de desplazamiento y se observó que estos valores influían de manera significativa en la rotación de los motores y por lo tanto en el desplazamiento de los rodillos y se determinó que una mayor precisión se obtiene asignando un mayor valor de velocidad y de aceleración, esto se observa en los resultados de la prueba 6.

4.6.Experimentación

En esta sección se presentan las diferentes pruebas que se realizaron con el modelo funcional para validar el funcionamiento del diseño de configuración de las alternativas de solución propuestas desde la etapa de diseño conceptual. Se corroboró que el modelo, fabricado con las alternativas de solución definidas en la etapa de diseño a detalle, cumple con los puntos indispensables para la realización de una estampa de un grabado artístico realizado con la técnica de grabado en relieve, estos son:

- Permitir la realización de la técnica de transfer para una mayor eficiencia al realizar un grabado.
- Tener un control preciso y de fácil manejo de la distancia entre los rodillos de impresión.
- Obtener una impresión de calidad que satisfaga las necesidades artísticas del usuario.
- Realizar varias copias de una estampa con un resultado satisfactorio en cada una de ellas.

4.6.1.Prueba de transfer

El proceso de transfer consiste en transferir un diseño o imagen a la matriz para que sirva de guía en el procedimiento de grabado. Este proceso se realiza únicamente para matrices de madera; consiste en realizar una fotocopia del diseño con alto contenido de tóner, se coloca la hoja sobre la tabla de forma de que el lado de la copia este en contacto con la madera, se empapa de disolvente como tinner o aguarrás como se muestra en la Figura 4-22. Posteriormente se ejerce presión sobre la hoja contra la madera y de esta forma la imagen queda pintada sobre la madera.

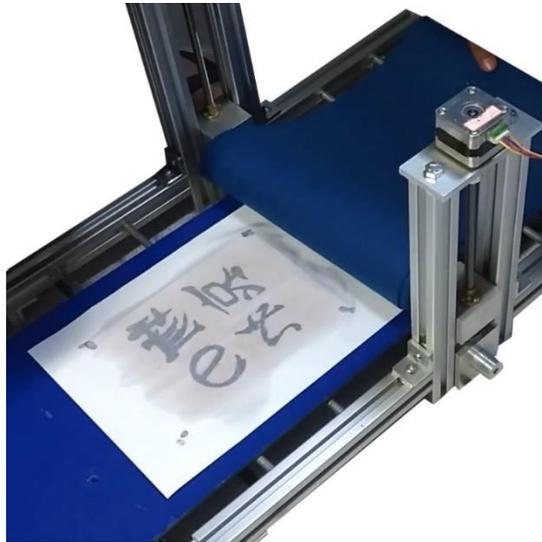


Figura 4-22 Fotografía de la prueba de transfer

La principal ventaja del procedimiento de transfer es el obtener una guía sobre la matriz con una perspectiva en espejo, esto es sumamente útil especialmente cuando se trabaja con letras, porque las impresiones obtenidas de la matriz respetan el diseño original.

El procedimiento de transfer es uno de los más utilizados en los talleres de grabado, por lo que este debe poderse realizar en el prototipo funcional. Se realizó una prueba de transfer para determinar que este se pudiese realizar en el prototipo.

Se utilizó como disolvente el tinner, se posicionó la copia del diseño sobre la matriz como se muestra en la Figura 4-22, se utilizó la configuración del modelo funcional mostrada en la Tabla 4-25 y la información de la matriz se presenta en la Tabla 4-26.

Distancia entre rodillos	8.35mm]
Distancia entre rodillo superior y platina	2.00[mm]

Tabla 4-25 Ajustes del modelo funcional para la prueba de transfer

Material de Matriz	Macocel
Espesor de matriz	3 [mm]
Dimensiones	150 x 200 [mm]

Tabla 4-26 Características de la matriz

Resultados

El proceso de transfer fue satisfactorio, aunque no toda la imagen se transfirió a la perfección, las secciones importantes están presentes por lo que se puede terminar de definir con un lápiz o plumón como se observa en la Figura 4-23 y la Figura 4-24.



Figura 4-23 Fotografía al momento de levantar el papel después de la prueba de transfer



Figura 4-24 Resultados de la prueba de transfer

4.6.2. Diseño de experimento del modelo funcional para la realización de impresiones artísticas.

Objetivos

- Probar y evaluar la funcionalidad del prototipo a escala realizando impresiones de obras artísticas.
- Evaluar la repetibilidad de la producción de obras artísticas basándose en la calidad de impresión y semejanza entre elementos del mismo tiraje de producción.
- Evaluar la repetibilidad de producción entre elementos de diferente tiraje de producción evaluando la calidad y semejanza.
- Determinar si una misma configuración del prototipo es aplicable para la impresión satisfactoria de diferentes obras artísticas realizadas sobre una matriz estandarizada.

Experimento 1: prueba de funcionalidad del prototipo

El experimento consiste en evaluar la funcionalidad del prototipo, el experimento se considera exitoso cuando en el modelo funcional pueda imprimirse una estampa de grabado con matriz de madera que sea satisfactoria para el usuario final. En la Tabla 4-27 se observa un ejemplo de calidad requerida.

Imagen	Observaciones
	<p><u>Impresión Correcta</u> La tinta negra tiene la saturación adecuada permitiendo una imagen nítida con detalles definidos.</p>
	<p><u>Impresión Incorrecta</u> No se cuenta con la saturación adecuada de tinta sobre el papel, la imagen es poco nítida y los detalles no están bien definidos.</p>

Tabla 4-27 Ejemplo de una impresión de buena calidad contra una de mala calidad del experimento 1

Experimento 2: repetibilidad en la producción de un tiraje de obra artística.

El tiraje se define como el número de copias impresas de la misma matriz y utilizando la misma configuración del tórculo y el mismo tórculo para cada impresión. Es indispensable que la configuración del tórculo no se modifique en ningún momento durante la impresión de las copias.

Procedimiento

1. La distancia entre los rodillos del tórculo ajusta en la posición adecuada para obtener una impresión correcta como la que se muestra en la Tabla 4-28. La información del posicionamiento es registrada y esta impresión se define como la impresión piloto. Las siguientes impresiones deben de contar con una calidad y definición de imagen igual a la impresión piloto.

No. impresión	Imagen	Configuración del tórculo
Impresión Piloto		Distancia entre rodillos: Registro de posición para impresión piloto

Tabla 4-28 Ejemplo de impresión piloto para el experimento 2

2. El tiraje definido para la prueba es de 10 copias, las cuáles se evalúan una por una con el programa de Adobe Photosop ®. Utilizando un modo de color RGB, se comparan las tonalidades de los colores y variaciones de las impresiones como se muestra en la Figura 4-25.

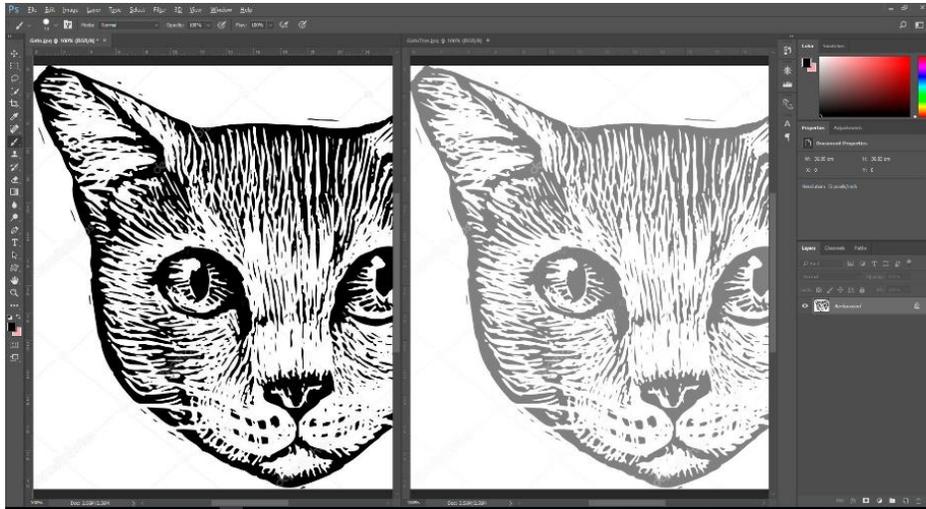
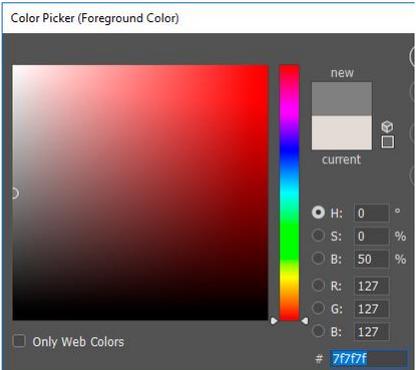


Figura 4-25 Ejemplo de comparación de de impresión piloto contra el tiraje

Para evaluar el color de la impresión se compara la información de saturación e información de color en modo RGB como se muestra en la Tabla 4-29.

Imagen	Información RGB
	
	

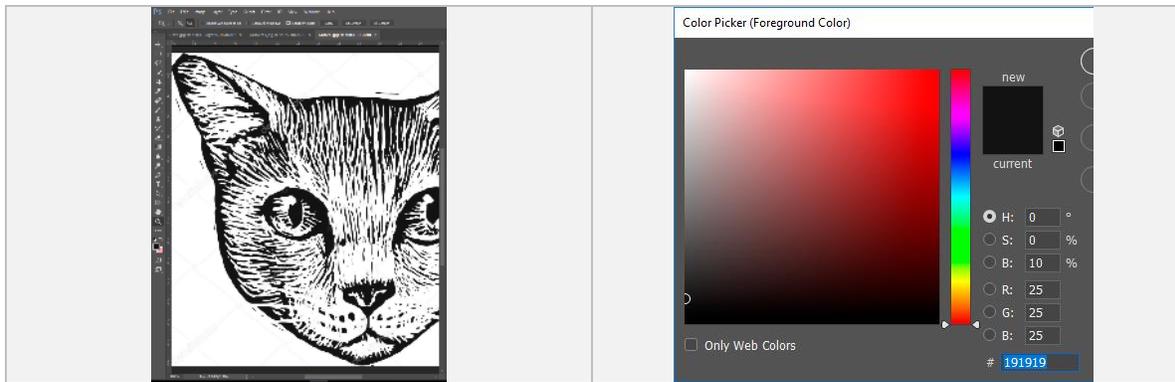


Tabla 4-29 Ejemplo de recopilación de información en el modo de color RGB

La composición se evalúa comparando la imagen piloto con las impresiones del tiraje ampliando las imágenes digitalmente e identificando posibles distorsiones que indiquen diferencias entre las impresiones del tiraje y la impresión piloto. Como se muestra en la Figura 4-26.

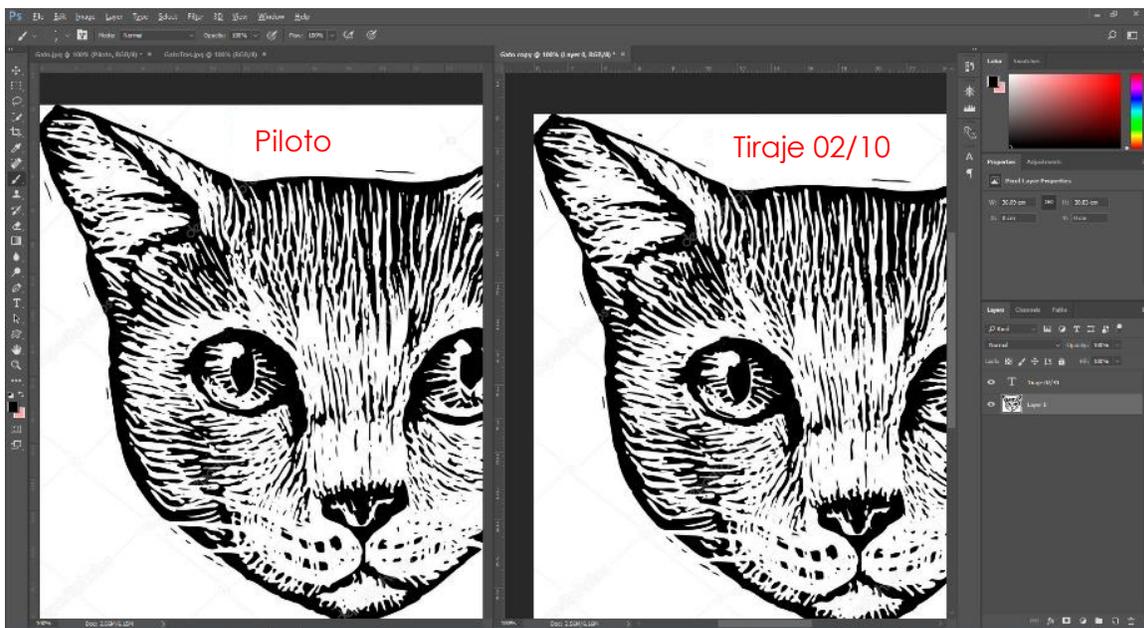


Figura 4-26 Ejemplo de comparación de distorsiones en el tiraje

Se realiza una ampliación en la zona con distorsiones, y se evalúa si es una distorsión permisible que no afecta la composición artística o es una copia defectuosa. El ejemplo de evaluación se presenta en la Figura 4-27.

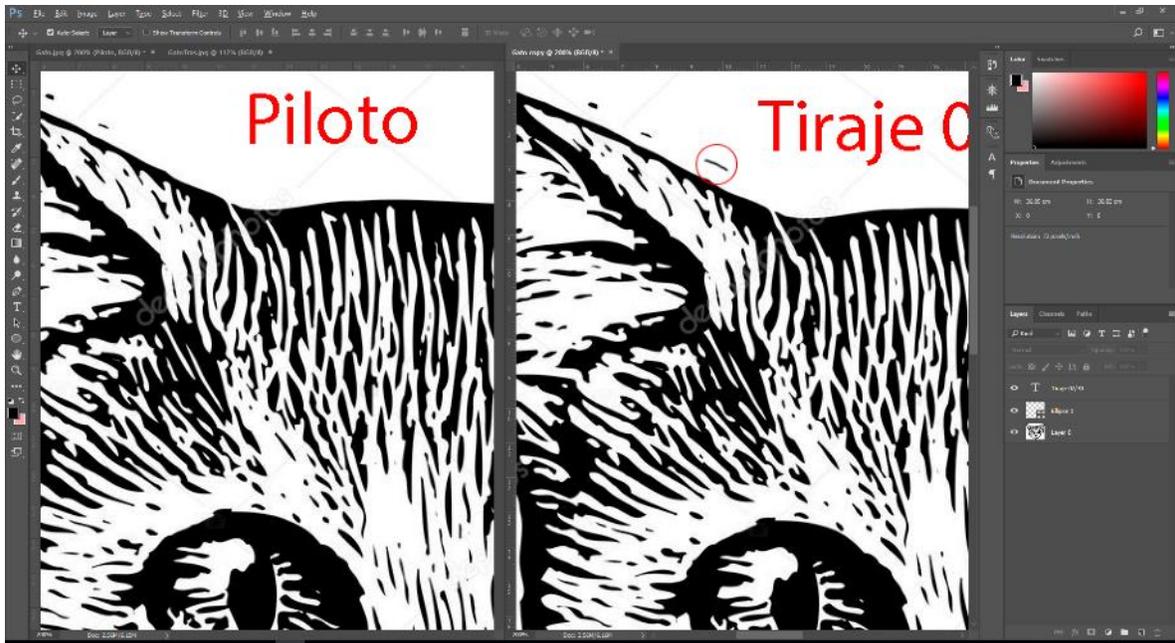


Figura 4-27 Ejemplo de acercamiento para identificar distorsiones en el tiraje

3. Los resultados se presentan en una tabla como la Tabla 4-30.

No. Impresión	Imagen	Color	Distorsiones	Impresión Aceptada
1		R: 0 G: 0 B: 0	Ninguna	Si
2		R: 25 G: 25 B: 25	Ninguna	Si

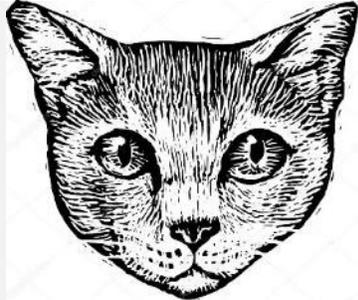
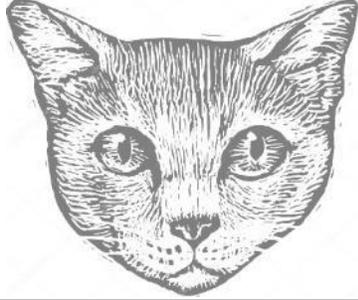
No. Impresión	Imagen	Color	Distorsiones	Impresión Aceptada
3		R: 0 G: 0 B: 0	Pequeña marca en la parte superior izquierda. No afecta la composición de la pieza	Si
4		R: 127 G: 127 B: 127	Ninguna	No

Tabla 4-30 Ejemplo de hoja de recopilación de datos

Experimento 3: calidad de elementos de diferentes tirajes.

Para este experimento se propone utilizar dos matrices del mismo material con diferentes ilustraciones como se muestra en la Tabla 4-31.

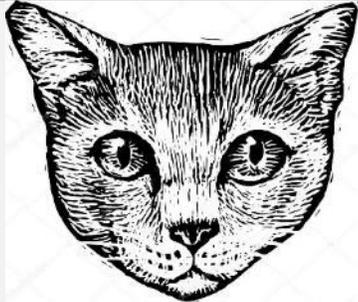
Matriz 1	Matriz 2
	

Tabla 4-31 Ejemplo de selección de dos grabados para el experimento 3

Procedimiento

1. Determinar la impresión piloto para la primera matriz como se muestra en la Tabla 4-32.

No. impresión	Imagen	Configuración del tórculo
---------------	--------	---------------------------

Impresión Piloto 1		Distancia entre rodillos
-----------------------	---	--------------------------

Tabla 4-32 Ejemplo de impresión piloto para el grabado 1 del experimento 3

- Realizar la impresión del tiraje de la matriz 1.
- Determinar la impresión piloto para la matriz 2 como se muestra en la Tabla 4-33.

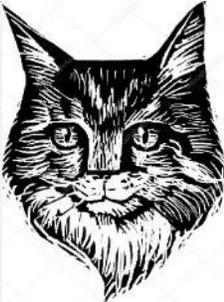
No. impresión	Imagen	Configuración del tórculo
Impresión Piloto 2		Distancia entre rodillos

Tabla 4-33 Ejemplo de impresión piloto para el grabado 2 del experimento 3

- Realizar la impresión del tiraje de la matriz 2.
- Configurar el modelo funcional con la información de la impresión piloto para realizar impresiones de la matriz 1.
- Recopilar la información de color y distorsiones del primer y segundo tiraje y se comparará dicha información.

Experimento 4: configuración estándar.

El experimento consiste imprimir grabados realizados sobre una matriz estandarizada, mismo material y dimensiones iguales, y observar si existen variaciones en el color y calidad de impresiones.

Procedimiento

- Definir una impresión piloto.
- Seleccionar diferentes grabados con una matriz estandarizada como los mostrados en la Tabla 4-34.

Grabado 1	Grabado 2
------------------	------------------

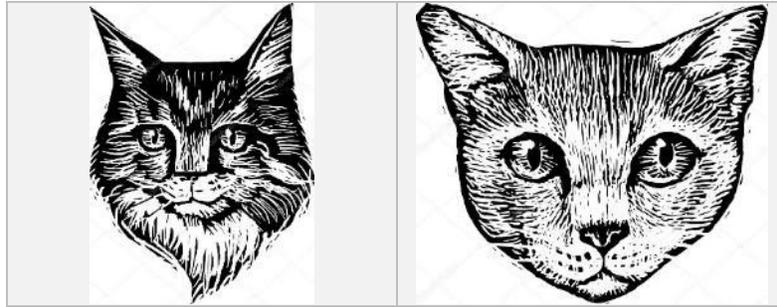


Tabla 4-34 Ejemplo de selección de dos grabados para el experimento 4

3. Comparar la calidad de las impresiones con la misma configuración de máquina de diferentes grabados como se muestra en la Tabla 4-35.

Grabado	Imagen	Color
1		R: 0 G:0 B:0
2		R: 0 G:0 B:0

Tabla 4-35 Ejemplo de comparación de calidad de las impresiones para el experimento 4

4.6.3.Experimentación con el modelo funcional.

Experimento 1: prueba de funcionalidad del prototipo

En la Tabla 4-36 se presenta la información de la matriz utilizada para el experimento con el que se determinó si en el modelo funcional podía obtener una impresión que satisface la calidad deseada por el usuario. En la Figura 4-28 se presentan la matriz entintada y posicionada para realizar la prueba de impresión.

Datos de matriz

Material de Matriz	Macocel
Espesor de matriz	3 [mm]
Dimensiones	150 x 200 [mm]
Diseño	Mono no Aware

Tabla 4-36 Datos de la matriz del primer grabado



Figura 4-28 Fotografía de la matriz entintada antes de realizar el proceso de estampado

Se realizaron 6 pruebas de impresión, se inició con una distancia entre rodillo superior y la platina (DRSP) de 3 [mm] que es igual al espesor de la matriz, entre prueba y prueba se fue reduciendo el DRSP con base en la calidad de imagen obtenida en la prueba anterior hasta obtener una impresión de calidad. Los resultados del experimento se presentan en la Tabla 4-37.

No. Impresión	Imagen	Color	Observaciones	DRSP[mm]
1		R:12 G:08 B:09	Impresión de mala calidad. Zonas sin tinta Textura de la tinta correcta.	3
2		R:01 G:01 B:01	Impresión de mala calidad. Zonas sin tinta Textura de la tinta correcta.	2.5

3		R:03 G:05 B:04	Impresión de mala calidad. Zonas sin tinta, contiene aún muchos puntos blancos Textura de la tinta correcta.	2
4		R:02 G:00 B:01	Impresión de mediana calidad. Zonas sin tinta, contiene aún muchos puntos blancos Textura de la tinta correcta.	1.7
5		R:03 G:03 B:05	Impresión de mediana calidad. Zonas sin tinta, contiene aún muchos puntos blancos, el borde superior no está bien definido. Textura de la tinta correcta.	1.6
6		R:01 G:00 B:00	Impresión de buena calidad. Contiene pocos puntos en blanco de fácil corrección. Textura de la tinta correcta.	1.5

Tabla 4-37 Resultados del experimento 1

Resultado del experimento 1

El prototipo permite la impresión de estampas con una buena calidad visual. Por lo que el prototipo completa satisfactoriamente la prueba de funcionalidad. Esto puede observarse en el resultado de la impresión número 6 de la Tabla 4-37.

Experimento 2: repetibilidad en la producción de un tiraje de obra artística.

Del experimento 1 se obtuvo una impresión piloto de buena calidad realizada con un DSRP de 1.5 [mm] como se muestra en la Tabla 4-38. Sin modificar esta configuración se prosiguió a realizar un tiraje de 10 impresiones las cuales se evaluaron individualmente utilizando un formato de coordenadas para facilitar la

localización de puntos relevantes en la impresión como el mostrado en la Figura 4-29

No. impresión	Imagen	DRSP [mm]
Impresión Piloto		1.5

Tabla 4-38 Impresión piloto para el experimento 2



Figura 4-29 Plantilla para el análisis del tiraje impreso

Las impresiones obtenidas de este experimento, primer tiraje, junto con la información de color, identificación de distorsiones y si es una impresión satisfactoria se presentan en la Tabla 4-39.

No. Impresión	Imagen	Color	Identificación de distorsiones	Impresión aceptada
1		R:12 G:08 B:09		Si

2		R:01 G:01 B:01		Si
3		R:03 G:05 B:04	Secciones con zonas blancas indeseables: A1, A2, B1, B2, C1, D1, D2.	No
4		R:02 G:00 B:01	Ligeros bordes blancos en secciones: D2, D3, y D4	Si
5		R:03 G:03 B:05	Secciones con zonas blancas indeseables: A1, B1, B2, C1, D1, D4.	No

Tabla 4-39 Resultados del experimento 2

No. Impresión	Imagen	Color	Identificación de distorsiones	Impresión aceptada
---------------	--------	-------	--------------------------------	--------------------

6		R:01 G:00 B:00		Si
7		R:12 G:08 B:09		Si
8		R:01 G:01 B:01		Si
9		R:03 G:05 B:04		Si
10		R:02 G:00 B:01		Si

Tabla 4-39 cont. Resultados del experimento 2

Resultado del experimento 2

Durante el proceso de impresión se corroboró si entintar la matriz una sola vez permite realizar dos o más impresiones con un resultado aceptable para el usuario. Los resultados de este procedimiento se presentan en la Tabla 4-39 en donde la impresión número 3 se realizó sin volver a entintar la matriz después de realizar la impresión 2, de igual manera se realizó la impresión 4 y sin volver a entintar la impresión 5.

Se observa que las impresiones 3 y 5 son impresiones no aceptadas, por lo que para obtener una impresión de calidad es indispensable entintar nuevamente la matriz en cada copia. Siguiendo este procedimiento se observa en la Tabla 4-39 que las impresiones subsecuentes, de la 6 a la 10, fueron todas satisfactorias.

Experimento 3: Calidad de elementos entre diferentes tirajes.

Para el experimento 3 se identificó la impresión piloto del segundo grabado utilizado, ying y yang. tomando de base la DRSP del primer grabado, se observó que con un valor de DRSP de 1.5 [mm] no se obtuvo una impresión de calidad para el segundo grabado por lo que se prosiguió a reducir la distancia del DRSP. Los resultados se presentan en la Tabla 4-40.

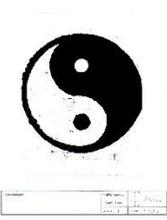
No. impresión	Imagen	DRSP [mm]
1		1.5
2		1.3

Tabla 4-40 Impresión piloto para el grabado del experimento 3

Se tomó como la impresión piloto la configuración de la impresión 2 de la Tabla 4-40. Se realizó la impresión de un tiraje de 5 copias del grabado, los resultados se presenta en la Tabla 4-41 donde se muestra la imagen de la impresión, color RGB, observaciones de la impresión y si esta es aceptada como impresión correcta.

No. Impresión	Imagen	Color	Observaciones	Impresión aceptada
---------------	--------	-------	---------------	--------------------

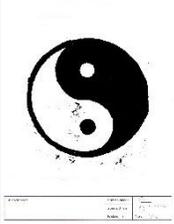
1		R:05 G:06 B:07	Manchas de color negro debido a un proceso de entintado impreciso.	Si
2		R:02 G:00 B:04	Manchas de color negro debido a un proceso de entintado impreciso.	Si
3		R:12 G:04 B:05	Manchas de color negro debido a un proceso de entintado impreciso.	Si
4		R:03 G:04 B:08	Manchas de color negro debido a un proceso de entintado impreciso.	Si
5		R:04 G:08 B:06	Manchas de color negro debido a un proceso de entintado impreciso.	Si

Tabla 4-41 Impresión del tiraje de un segundo grabado para el experimento 3

Las impresiones de la Tabla 4-41 fueron aceptadas ya que las distorsiones se debieron a un proceso de entintado impreciso y no a la operación del modelo funcional.

Una vez realizada la impresión del tiraje del segundo grabado se reconfiguró el modelo funcional con la información mostrada en la Tabla 4-38 y sin realizar prueba alguna se prosiguió a realizar la impresión de un segundo tiraje de 10 copias. El segundo tiraje se número empezando en el número 11 para identificar que los elementos con números posteriores pertenecen al segundo tiraje. El segundo tiraje se presenta en la Tabla 4-42, se eliminó la columna de distorsiones porque estas no se presentaron en ninguna impresión.

No. Impresión	Imagen	Color	Impresión aceptada
11		R:03 G:03 B:05	Si
12		R:01 G:00 B:00	Si
13		R:12 G:08 B:09	Si
14		R:01 G:01 B:01	Si
15		R:03 G:05 B:04	Si

Tabla 4-42 Impresión de un segundo tiraje del primer grabado para el experimento 3

No. Impresión	Imagen	Color	Impresión aceptada
16		R:02 G:00 B:01	Si
17		R:03 G:03 B:05	Si
18		R:01 G:00 B:00	Si
19		R:12 G:08 B:09	Si
20		R:01 G:01 B:01	Si

Tabla 4-42 cont. Impresión de un segundo tiraje del primer grabado para el experimento 3

Resultado del experimento 3

Se observó que para tener una impresión de calidad con un grabado con un área de contacto menor se requiere una mayor presión en función de la distancia entre el rodillo superior y la platina.

Se corroboró que una vez encontrando la DRSP adecuada para obtener una impresión satisfactoria esta puede reconfigurarse de forma precisa y de esta forma obtener un nuevo tiraje con la misma calidad que el primer tiraje.

Experimento 4: Configuración estándar.

Se comparó la información de la Tabla 4-38 y la Tabla 4-40 de los experimento 2 y 3 respectivamente y se construyó la Tabla 4-43. Los grabados utilizados cumplen con ser elementos del mismo material y espesor de matriz.

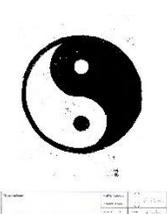
No. impresión	Imagen	DRSP [mm]
1		1.5
2		1.5
3		1.3

Tabla 4-43 Comparación de la configuración de la máquina para diferentes grabados

Resultado del experimento 4

Se observa en la Tabla 4-43 que con la configuración del modelo funcional para realizar el tiraje de impresión del grabado de "mono no aware" no se obtiene una impresión satisfactoria para realizar un tiraje de impresión del grabado del "ying y

yang", por lo que se requirió un reajuste del modelo funcional para obtener una impresión satisfactoria del segundo grabado.

4.6.4. Opinión de la comunidad de artes sobre el modelo funcional.

Se realizó la encuesta en línea presentada en el Anexo 2 para conocer la opinión del usuario final sobre el modelo funcional. La encuesta se aplicó principalmente dentro de la comunidad de la facultad de artes de la UNAM, tanto a alumnos, egresados y profesores. La muestra obtenida es de 26 personas con edades entre los 19 y 58 años, el conteo de personas con sus respectivas edades se presenta en la gráfica de la Figura 4-30. De los cuales el 58% fueron mujeres y el 42% hombres como se observa en la Figura 4-31.

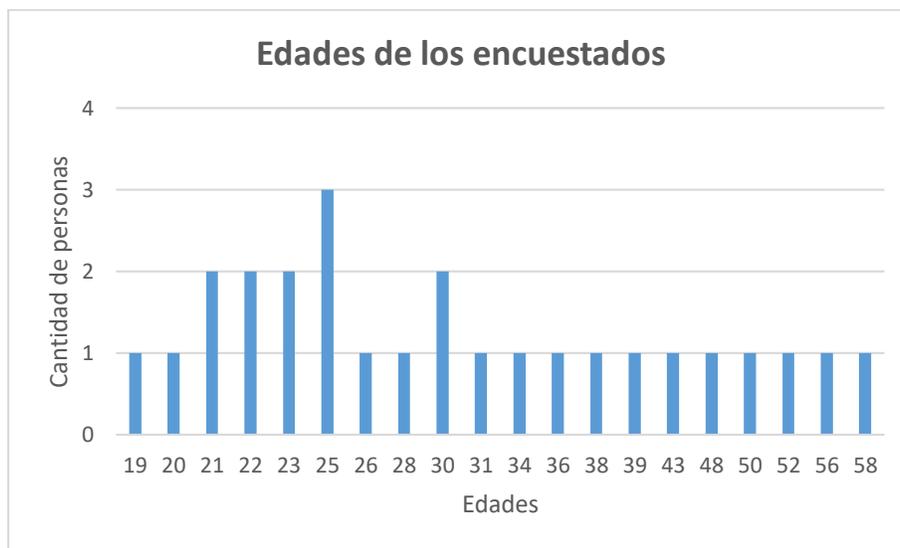


Figura 4-30 Cantidad de personas encuestadas y sus edades

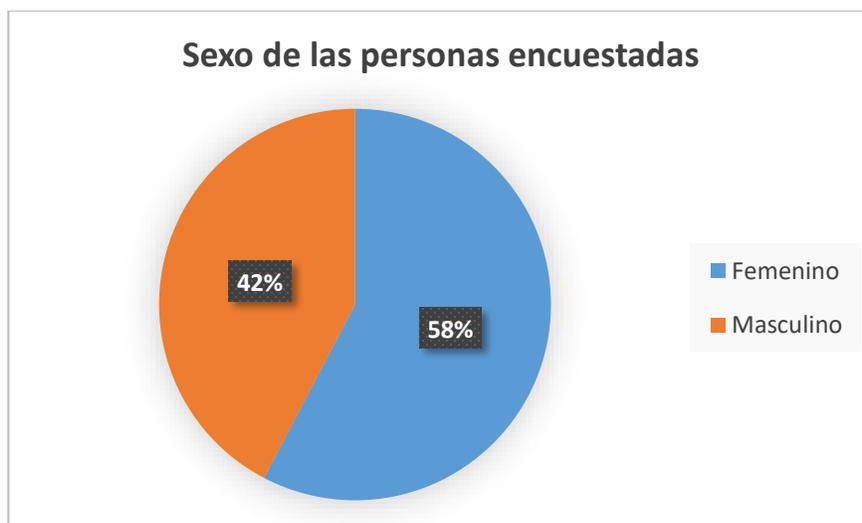


Figura 4-31 Sexo de las personas encuestadas

La ocupación de los encuestados se presenta en la Figura 4-32 de la forma en que ellos se definen a sí mismos y la cantidad de personas por cada ocupación registrada.

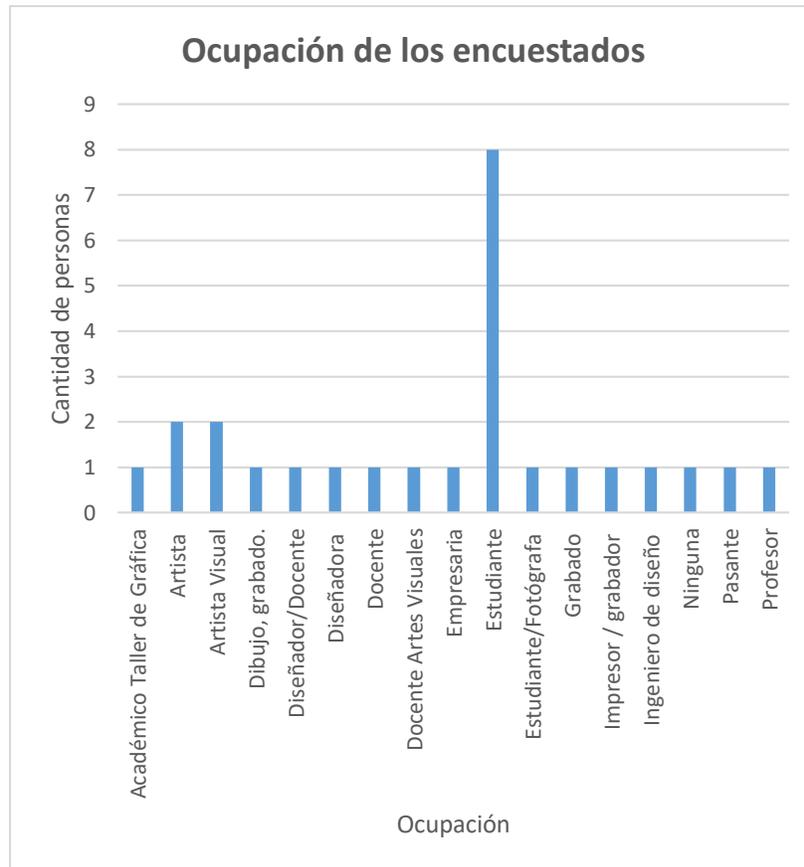


Figura 4-32 Ocupación de los encuestados

Para evaluar la opinión de las personas con respecto al sistema estructural, el sistema de presión, si la máquina les proporciona la confianza para una producción artística y la facilidad de uso, se presentó una fotografía del modelo funcional y se pidió a los encuestados que contestaran si estaban de acuerdo o en desacuerdo con los siguientes enunciados:

- Confianza para la impresión de grabados
- Ligera para moverse de un lugar a otro
- Seguridad de no romperse
- Facilidad para armarse
- Facilidad para la impresión de grabados.

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica de la Figura 4-33, donde se observa que predomina la respuesta neutra sobre si se puede realizar la impresión de grabados y la máquina tiende a generar confianza a simple vista. La mayoría de los encuestados coincide en que es una máquina ligera y fácil armado; el que

la máquina sea ligera incrementa la inseguridad de los encuestados con respecto a la resistencia de la misma. Finalmente, el modelo funcional refleja su facilidad de uso en cuanto a sus componentes mecánicos.

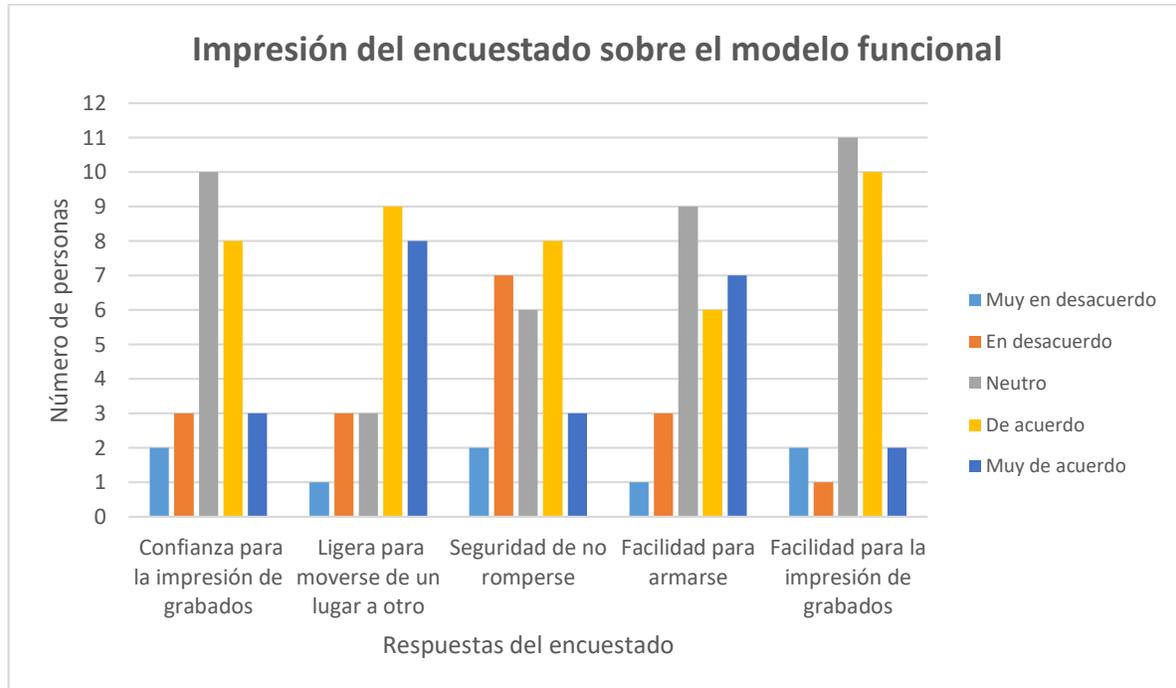


Figura 4-33 Impresión del encuestado sobre el modelo funcional

El 69% de los encuestados opinó que, si puede obtenerse una impresión de calidad en el modelo funcional como primera impresión, de entre sus principales razones destacan un buen diseño, un correcto armado de la máquina y que el sistema de rodillos ejercerá la presión adecuada. El 31%, que opinó lo contrario comentó que necesitaría probar la máquina para comprobar su funcionamiento, consideran que la máquina es muy ligera, tienen inseguridades sobre los materiales utilizados para su construcción y tiene dudas sobre las dimensiones de los rodillos.

Se preguntó a los sujetos de estudio si podrían hacer uso de la máquina sin algún instructivo especial y el 62% contestó que sí, esto quiere decir que el modelo funcional tiende a dar una percepción de fácil uso.

Para conocer la impresión de los objetos de estudio sobre el sistema de soporte de matriz, se presentó una fotografía de la platina de nylon y con base en esta, se les preguntó qué tan de acuerdo o en desacuerdo estaban con los siguientes enunciados:

- Confianza para la impresión de grabados
- Ligera para moverse de un lugar a otro
- Seguridad de no romperse

Los resultados obtenidos sobre la opinión de la platina se presentan en la gráfica de la Figura 4-34. Se observa que la mayoría de los encuestados optó por escoger la respuesta neutra, esto se debió a que la platina propuesta en el modelo funcional es muy diferente a lo que están acostumbrados y hay mayor incertidumbre en la seguridad de no romperse. De entre los encuestados que no escogieron la respuesta neutra, la mayoría opina que la platina si podrá satisfacer sus necesidades artísticas.

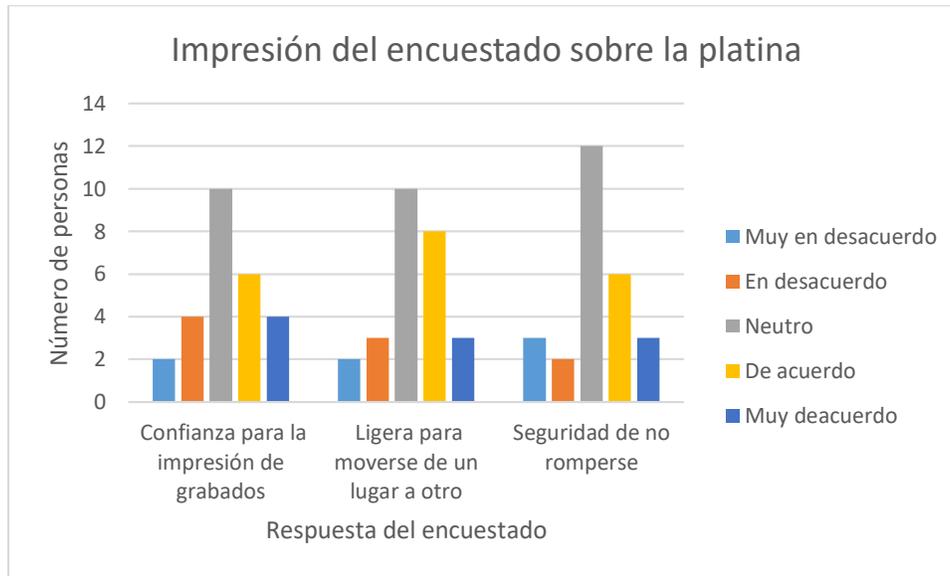


Figura 4-34 Impresión del encuestado sobre la platina

Con respecto al sistema de control de presión se preguntó a los encuestados que tan familiarizados estaban con el uso de motores de control para conocer si la incorporación de esta tecnología sería de fácil asimilación por los usuarios finales. El 58% contestó que nunca los ha usado y el 42% que los ha usado pocas veces, esto se ilustra con la Figura 4-35.

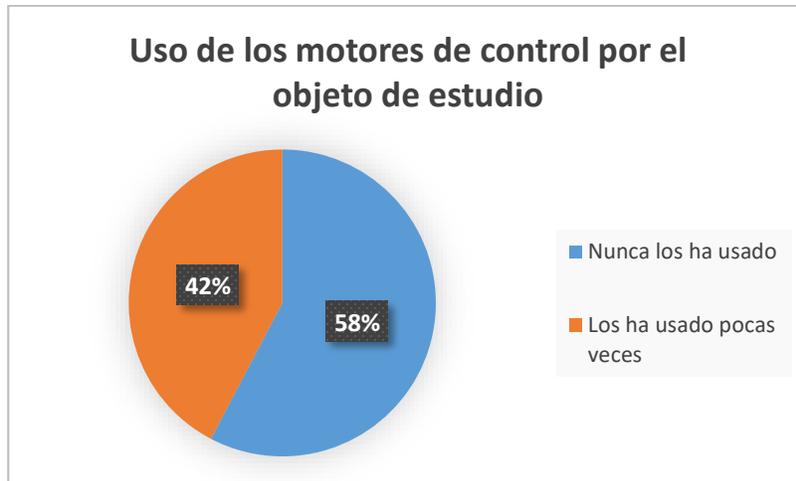


Figura 4-35 Uso de los motores de control por el objeto de estudio

Además, se recabó la opinión de los encuestados sobre incorporar un control preciso por medio de motores en la separación de los rodillos. Todos concuerdan en que sería muy útil para la producción de impresiones artísticas, algunas opiniones son: que sería una solución innovadora, que es un factor muy importante poder controlar la separación de rodillos a la perfección de ambos lados, que facilitaría el trabajo, se haría el trabajo más rápido y se obtendría una mejor calidad de impresión.

Por lo que la incorporación de los motores de control es una alternativa muy bien aceptada por los usuarios finales, sin embargo, hay integrar instrucciones precisas para su uso ya que es una comunidad no familiarizada con el control numérico.

Con respecto al sistema de interfaz con el usuario el 77% prefiere poder controlar la máquina tanto con el celular como con una computadora, el 19% solo con la computadora y el 4% únicamente con el celular, como se observa en la Figura 4-36.

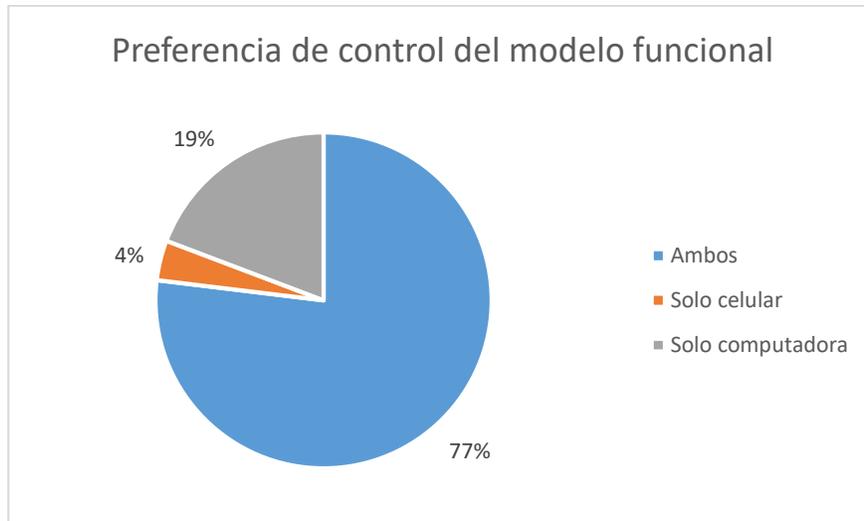


Figura 4-36 Preferencia de control del modelo funcional

Se presentó a los encuestados el programa de la interfaz de usuario de control por ordenador y se obtuvo la respuesta sobre qué tan complicada la consideraban. El resultado se presenta en la Figura 4-37, donde el número 5 representa que consideran fácil la interfaz de usuario y el 1 la consideran difícil. Se observa que la mayoría la considera complicada o no está seguro sobre si es fácil o difícil.

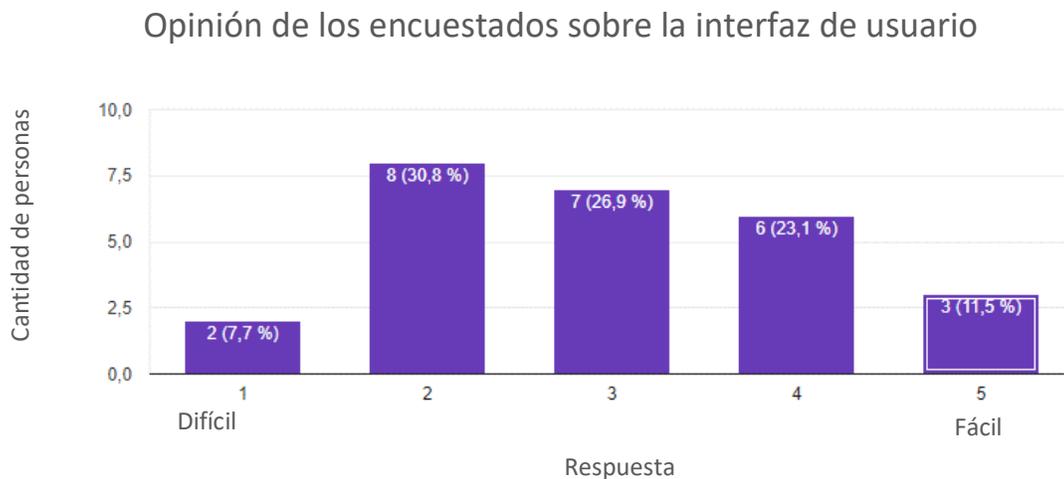


Figura 4-37 Opinión de los encuestados sobre la interfaz de usuario

En la Figura 4-38 se observa que al incorporar instrucciones sencillas en la interfaz de usuario, los encuestados cambian de opinión sobre la facilidad de uso. Esto demuestra que con las instrucciones adecuadas la máquina no tendría problema de incorporarse al mercado a pesar de que los clientes potenciales no tengan conocimiento sobre el uso de sistemas de control numérico.

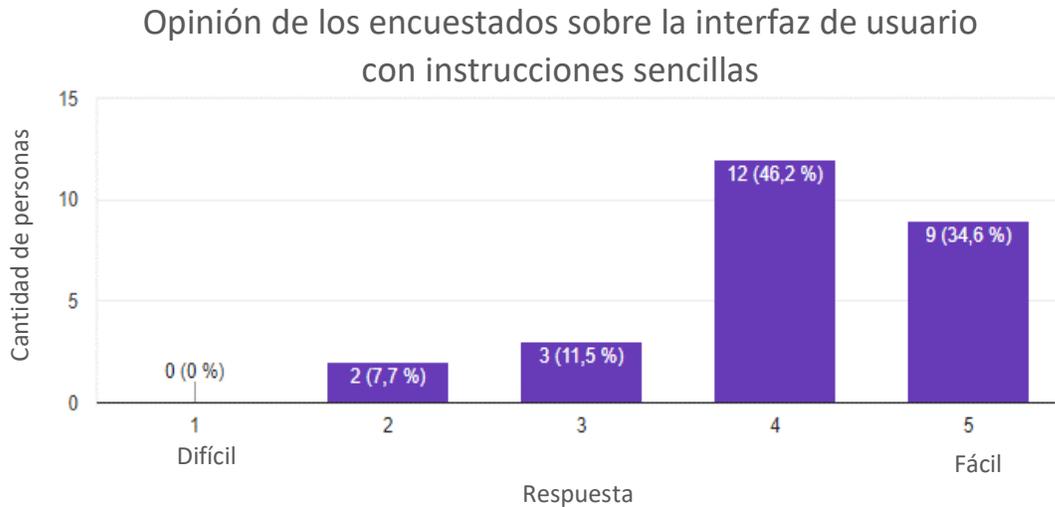


Figura 4-38 Opinión de los encuestados sobre la interfaz de usuario con instrucciones sencillas

Se presentó al objeto de estudio un resultado de impresión en relieve realizado con el modelo funcional y con base en este el 73% de los encuestados están de acuerdo la máquina les genera mayor confianza en su uso y que será de utilidad para su trabajo artístico. La mayoría comentó que la calidad es buena, que es una evidencia de que la máquina funciona y que la máquina se ve práctica. También hubo comentarios que mencionan que la calidad se ve bien, sin embargo, requerirían visualizar a mayor detalle tanto la impresión como la matriz, debido a algunos imperfectos que llegaron a visualizar en la imagen de muestra. Esto demuestra la relevancia de la percepción del artista para evaluar si es una impresión de calidad o no.

El 27% indicó que con base en el resultado de impresión el modelo funcional no les brinda la suficiente confianza para satisfacer sus necesidades artísticas, entre sus principales razones estuvieron que debían analizar en físico la impresión, que se sentían confiados de las impresiones en relieve, pero les generó incertidumbre si podría usarse con técnicas de huecograbado y otros comentaron que con la calidad de la imagen mostrada no se podía apreciar bien el resultado.

Al preguntar a los encuestados si adquirirían la máquina si estuviera a la venta el 73% respondió que si la compraría como se observa en la Figura 4-39. Las principales razones para adquirir la máquina fueron porque esta sería útil para la producción artística en lugares con poco espacio, para la realización de trabajos de dimensiones pequeñas, por ser ligera, por poderse instalar de forma sencilla, porque sería útil en salones de clase, por ser innovadora y porque agilizaría el trabajo de impresión de grabados. El 27% restante no la compraría principalmente por que la imagen de la máquina les dio la impresión de tener un alto costo económico, piensan que al funcionar con energía eléctrica y controlarse con una computadora o celular se pierde el carácter artístico-artesanal; y algunos

encuestados simplemente disfrutan de realizar una impresión artística con un trabajo 100% manual.

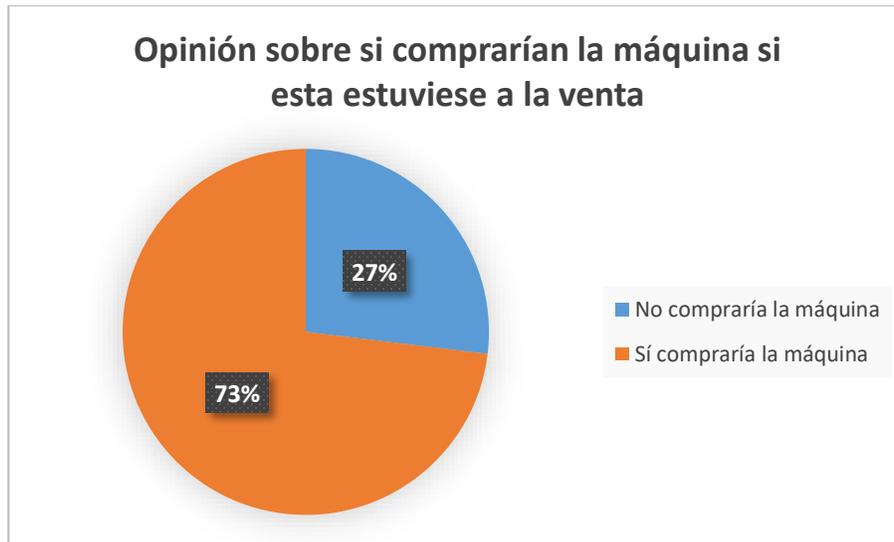


Figura 4-39 Opinión sobre si compraría la máquina si esta estuviese a la venta

Se definieron cuatro razones principales por las cuales los encuestados pueden tener el interés en adquirir el modelo funcional, estas son: educativo, por pasatiempo, para iniciar un negocio y producción artística. Se les permitió seleccionar más de una opción en caso de tener más de una razón para adquirir la máquina y también se les permitió agregar opciones extra en caso de que su principal razón no se mencionara. Los resultados se presentan en la Figura 4-40 donde se observa que en principal motivo de los encuestados es la producción artística y en segundo lugar para el ámbito educativo. Se observa que para los objetos de estudio no tiene relación la producción artística con actividades lucrativas ya que estas dos opciones no fueron seleccionadas por igual.



Figura 4-40 Razones por las cuales el encuestado compraría la máquina

Para finalizar, se preguntó a los encuestados si preferían que la rotación de los rodillos de la máquina sea de acción manual con un volante y más económica o que fuese de rotación automática con un motor y más costosa. Como se observa en la Figura 4-41 el 77% de los usuarios prefieren el modo de impresión manual y una máquina más económica.

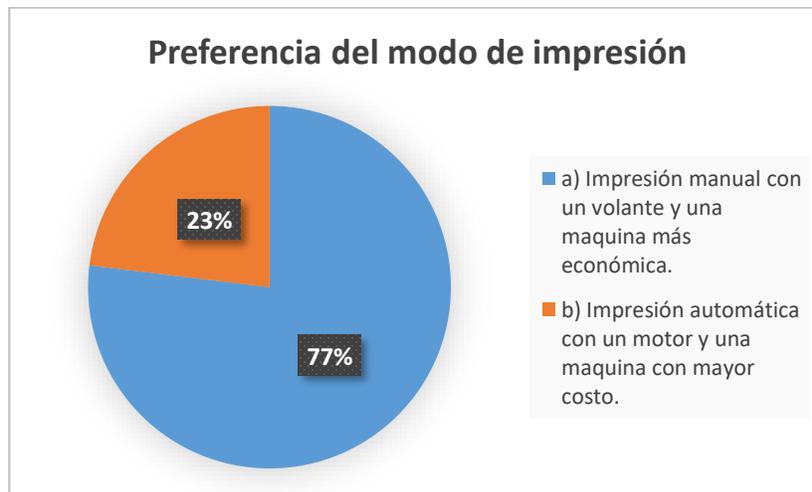


Figura 4-41 Preferencia del modo de impresión

CONCLUSIONES

Se realizó exitosamente un proceso de diseño relacionando dos áreas que aparentan no tener nada en común, las artes y la ingeniería. Esto se logró presentando constantemente los avances del proyecto con licenciados en artes visuales, que ocuparon el rol de usuario final, y de esta forma se obtuvo una realimentación que provocó cambios constantes en el diseño hasta obtener un resultado satisfactorio para ambas partes.

El principal desafío fue el romper los paradigmas de los usuarios, ya que ellos buscaban un dispositivo que no altere el carácter artístico-artesanal de las piezas de grabado, esto condujo a que diversas propuestas de innovación fueran descartadas por los mismos, por ejemplo, al proponer un sistema que entinte las matrices consideraron que las placas perderán su carácter expresivo y que el proceso de control de entintado no será de calidad.

Se fabricó un modelo funcional, basado en la etapa de diseño, que cumple con los requerimientos establecidos por los usuarios finales. Con la encuesta realizada, se corroboró que la máquina es llamativa e innovadora para los alumnos, egresados y profesores de la facultad de artes de la UNAM, los cuales fueron la principal razón del inicio de este proyecto, por lo que se cumplió el objetivo de fabricar una máquina innovadora dirigida a la comunidad de artes visuales.

Para ordenar las conclusiones siguientes estas están divididas en dos secciones, las conclusiones obtenidas del proceso de diseño y las conclusiones de las pruebas realizadas con el modelo funcional.

Proceso de diseño

Durante la etapa de diseño se identificaron diversas áreas que requieren mejorarse para optimizar el proceso de estampado con grabados artísticos. El resultado final de este proyecto cubre estas áreas además de abrir nuevas posibilidades artísticas para trabajos futuros de los maestros grabadores. Las mejoras obtenidas son:

- El diseño elaborado cuenta con una medición precisa de la fuerza de estampado en función de la distancia entre rodillos, con uso del control numérico tiene una precisión de desplazamiento de 0.01[mm]. Tener un control preciso de la fuerza que se ejerce sobre la matriz es de suma importancia para obtener una impresión de calidad.
- La máquina diseñada permite la realización de estampas con matrices en relieve elaboradas con cualquier tipo de madera y de un espesor máximo de 200[mm]. Además, permite la impresión de elementos litográficos y grabados realizados en hueco con láminas de aluminio y cobre, sin

embargo, para imprimir los grabados en hueco, la matriz no debe sobrepasar los 300[mm] de su lado paralelo a los rodillos de impresión ni ajustar una reducción de espesor mayor a 0.01[mm].

- A diferencia de los modelos comerciales, la máquina diseñada es ligera y puede adaptarse fácilmente a los espacios con los que cuente el usuario. El sistema de control puede desacoplarse fácilmente e instalarse junto a rodillos de menor longitud, de esta forma se tiene mayor versatilidad y un diseño adaptativo a las necesidades del usuario.
- El sistema de control puede manipularse de forma fácil utilizando un ordenador personal o un teléfono inteligente. Esto permite optimizar el tiempo de ajuste de la máquina, esta función demuestra su potencial en los casos en que la máquina debe ser utilizada por múltiples usuarios con diferentes propuestas de grabado.

Las máquinas comerciales no cuentan con una forma de medir la fuerza de impresión lo que lleva al usuario a fracturar o pandear el grabado e inclusive romper componentes de las prensas. Además, los fabricantes no proporcionan información de la carga máxima soportada ni de los tamaños y materiales permisibles de grabado para realizar una impresión.

Pruebas del modelo funcional

Una de las principales preocupaciones planteadas por los usuarios fue si el uso del aluminio y el nylon, permiten la realización de una impresión de calidad. Con el modelo funcional se comprobó que efectivamente puede obtenerse una impresión que satisface las necesidades artísticas de los usuarios.

Para este proyecto se identificó la separación de los rodillos óptima para realizar una impresión de calidad de los grabados utilizados, y se definió como el ajuste óptimo. Este ajuste, permite realizar múltiples copias maximizando el tiempo de vida de un matriz.

Al realizar las pruebas de impresión con diferentes grabados se demostró que la distancia entre el rodillo superior y la platina requerida para cada grabado está en función de la superficie grabada, a menor área de contacto se requiere una distancia menor.

Las principales observaciones después de la experimentación son:

- La platina de nylon a pesar de tener diversas distorsiones permitió la impresión de estampas de calidad.
- La platina fabricada con nylon es más económica y mucho más ligera que las platinas convencionales de acero, sobre todo para dimensiones grandes.
- La vida útil de la platina para el proceso de impresión se estima hasta la ruptura.

- El control de la presión no permite una gama de grises con la técnica de grabado en relieve, esta gama de color solo se consigue con técnicas de huecograbado al aguafuerte.
- Una precisión de 0.1 [mm] de la distancia entre rodillos marca la diferencia entre una impresión de calidad o no, elemento que las máquinas comerciales no tienen y generaban un gran desperdicio en papel, tinta e incluso daños permanentes a los grabados.
- Con la precisión del control numérico se le da al artista una nueva herramienta de experimentación para su obra, este ya no está limitado por la rigidez de las máquinas convencionales, lo que le permite jugar con la configuración de la máquina para obtener diferentes resultados.

REFERENCIAS

- Aceroarte. (2016). *Catálogo de tórculos*. Recuperado de <http://aceroarte.com/torculos_catalogo.htm>
- Arteina. (2016). *Prensa 800x800*. [Imagen]. Recuperado de <<http://www.arteina.com/grabado-prensa-800x800>>
- Ashby, M. (2005). *Materials selection in mechanical desing*. El Sevier.
- Bolza-Shünemann, H. B. (1968). *United States Patent No. 3384011*.
- Catafal, J., & Olivia, C. (2009). *El Grabado*. Barcelona, España: Parramón Ediciones.
- DAU Components. (2018). *General Tolerances to DIN ISO 2768*. Recuperado de <http://www.dau-components.co.uk/doc/General_Tolerances_-DIN_-ISO_-2768.pdf>
- Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2009). *Engineering Desing*. New York, United States: McGraw-Hill.
- Doble Vela. (2018). *Serigrafía*. [Imagen]. Recuperado de <<http://articulospromocionaleskw.com/tipo-servicio/serigrafia/>>
- Etal, G. P. (1969). *United States Patent No. 3470816*.
- Ferrete. (2018). *Montando una CNC*. Recuperado de <<http://srferrete.es/montando-una-cnc-parte-5-electronica-y-configuracion>>
- Flórez, D., Úsuga, D., Escobar, J., Varela, L., Correa, R. *Análisis de esfuerzos para un rodillo de trabajo en un molino laminador de acero*. Artículo, UNC, Medellín, Colombia.
- Garrido, C. (2014). *Grabado: procesos y técnicas*. Madrid, España: AKAL.
- González, M. (2010). *Nuevos procesos de transferencia mediante tóner y su aplicación al grabado calcográfico*. Tesis de doctorado no publicada, UCM, Madrid, España.
- Granger, W. H. (1968). *United States Patent No. 3585932*.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. D.F., México: McGraw-Hill.
- Harrison, D. L. (1969). *United States Patent No. 3611924*.
- InnoSuTra. (2017). *Herramientas para desarrollar soluciones innovadoras, TRIZ*. Recuperado de <http://www.innosupport.net/uploads/media/ES_4_9_TRIZ_01.pdf>

- Lee, W. H. (1968). *United States Patent No. 3557692*.
- Norton, R. (1999). *Diseño de máquinas*. México: PRENTICE HALL.
- Oxford Creativity. (2017). *Contradictions Matrix*. Recuperado de <<https://www.triz.co.uk/how/contradictions-matrix>>
- Praefcke, A. (2018). *Piedra empleada para litografía. (Motivo: fachada de la Universidad de Princeton)*. [Imagen]. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Litograf%C3%ADa#/media/File:Lithography_stone_Princeton_motif.jpg>
- Pullen, D. (1967). *United States Patent No. 3329086*.
- SlideShare. (2013). *Grabado en relieve*. [Imagen]. Recuperado de <<https://es.slideshare.net/margaprofe/grabado-en-relieve-16924634>>
- Solid Creativity. (2017). *TRIZ 40*. Recuperado de <http://www.triz40.com/TRIZ_GB.php>
- Taller Eco-Grabado. (2018). *Información de sesiones del taller de eco-grabado*. [Imagen]. Recuperado de <https://tallerecograbado.wordpress.com/2012/04/14/2-sesion_14-abril-2012/>
- Targowisko, S. (2016). *Fotografía tórculo*. [Imagen]. Recuperado de <<http://targowiskosztuki.pl/pl/techniki,5/lista/grafika,1>>
- Todoart. (2016). *Prensas verticales*. [Imagen]. Recuperado de <<https://todoart.com/productos/prensas.htm>>
- Tórculos Ribes. (2016). *Catálogo tórculos*. [Imagen]. Recuperado de <<http://www.torculosribes.es/es/catalogo-torculos>>
- Totenart. (2018). *Grabado calcográfico*. [Imagen]. Recuperado de <<https://totenart.com/material-grabado-calcografico>>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. D.F., México: McGraw-Hill.
- Vostok Printing Shop. (2018). *Sustitutos alternativos al linóleo*. [Imagen] Recuperado de <<https://vostokshop.eu/nuevo-material-blue-carving-block/>>

ANEXO 1.

La matriz de contradicciones de TRIZ

G.S. Altshuller descubrió que solo hay 39 parámetros técnicos que pueden generar conflictos entre ellos. Por lo que todo problema puede ser descrito entre dos de estos parámetros, uno que se quiere mejorar o innovar y, por ende, genera que otro de los parámetros empeore, produciéndose una contradicción. Los 39 parámetros se presentan en la Tabla A-1

Si se realizan todas las combinaciones entre los 39 parámetros se obtiene una matriz de 39x39.

Con base en sus investigaciones Altshuller definió que la solución a cualquier problema se encuentra dentro de 40 posibilidades bien definidas. A estas 40 posibles soluciones las denominó los 40 principios inventivos, estos se presentan en la Tabla A-2.

Cada contradicción entre los 39 parámetros técnicos genera un problema, dicho problema se ha resuelto exitosamente con uno de los 40 principios inventivos. La matriz de contradicciones reporta los principios inventivos con los que se han resuelto exitosamente estas contradicciones.

Para usar la matriz de contradicciones se presenta una problemática, se selecciona el parámetro que se quiere mejorar y se definen los parámetros que se empeoran y que son indeseables al mejorar el primer parámetro. Se busca la contradicción dentro de la matriz de contradicciones de la Figura A-1 y esta proporciona los principios inventivos con los que exitosamente se ha resuelto la contradicción.

Con los principios inventivos aplicables para la contradicción que se presenta con la problemática se pueden proponer nuevas e innovadoras alternativas de solución.

Como la matriz de las contradicciones indica cuál de los 40 principios inventivos se han utilizado con mayor frecuencia para resolver un problema que implica una contradicción particular en base a los 39 parámetros de Altshuller, no todas las contradicciones tienen una solución reportada.

Tabla A-1 Los 39 parámetros técnicos de Altshuller

39 Parámetros de Altshuller			
1	Peso de un objeto en movimiento	21	Potencia
2	Peso de un objeto sin movimiento	22	Perdida de energía
3	Longitud de un objeto en movimiento	23	Perdida de sustancia
4	Longitud de un objeto sin movimiento	24	Pérdida de información
5	Área de un objeto en movimiento	25	Desperdicio de tiempo
6	Área de un objeto sin movimiento	26	Cantidad de sustancia
7	Volumen de un objeto en movimiento	27	Confiabilidad
8	Volumen de un objeto sin movimiento	28	Precisión de medición
9	Velocidad	29	Precisión de manufactura
10	Fuerza	30	Factores perjudiciales actuando sobre el objeto
11	Tensión/Presión	31	Efectos secundarios dañinos (Object-generated harmful)
12	Forma	32	Facilidad de manufactura
13	Estabilidad de un objeto	33	Facilidad de operación
14	Resistencia	34	Facilidad de reparación
15	Durabilidad de un objeto en movimiento	35	Adaptabilidad o versatilidad
16	Durabilidad de un objeto sin movimiento	36	Complejidad de mecanismo
17	Temperatura	37	Complejidad de control
18	Intensidad luminosa	38	Nivel de automatización
19	Energía gastada por un objeto en movimiento	39	Productividad
20	Energía gastada por un objeto sin movimiento		

Tabla A-2 Los 40 principios inventivos

40 Principios inventivos			
1	Segmentación	21	Velocidad
2	Separación/ Extracción	22	Conversión de efectos dañinos en benéficos
3	Calidad local	23	Realimentación
4	Asimetría	24	Intermediación
5	Combinación	25	Autoservicio
6	Universalidad	26	Copia
7	Anidación	27	Relación costo-vida útil
8	Contrapeso	28	Sustitución mecánica
9	Reacción previa	29	Uso de construcción neumática o hidráulica
10	Acción previa	30	Películas flexibles o membranas delgadas
11	Amortiguación anticipada	31	Porosidad
12	Equipotencialidad	32	Cambio de color
13	En la otra dirección	33	Homogeneidad
14	Curvatura / Esférico	34	Restauración y recuperación de partes

15	Dinamicidad	35	Transformación de parámetros físico-químicos
16	Parcialidad o excesividad	36	Transición de fase
17	Nueva dimensión	37	Expansión térmica
18	Vibración mecánica	38	Fuerte oxidación
19	Periodicidad de acciones	39	Atmósfera inerte
20	Continuidad de acciones útiles	40	Composición de materiales

Figura A-1 Matriz de contradicciones de TRIZ

Contradiction Matrix for Solving Technical Contradictions

Improve this one without making this one worse

39 Technical Parameters	Parameters																																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39						
1	Weight of moving object	-	15	29	29	2	8	10	10	10	13	26	5	6	2	19	1	3	12	12	6	5	10	3	3	11	26	22	23	27	28	3	2	29	26	28	29	26	35						
2	Weight of stationary object	-	10	35	5	8	13	13	10	26	2	2	27	28	19	32	5	18	15	18	5	15	10	10	16	18	26	28	1	21	29	2	6	13	2	27	19	10	25	2	26	35			
3	Length of moving object	8	-	17	7	17	13	17	1	1	8	8	19	10	15	19	3	10	15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
4	Length of stationary object	3	2	-	17	7	13	17	1	1	8	8	19	10	15	19	3	10	15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	Area of moving object	2	1	14	-	7	7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
6	Area of stationary object	-	3	2	-	7	7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
7	Volume of moving object	2	2	1	1	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
8	Volume of stationary object	-	3	2	1	1	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
9	Speed	8	1	18	13	17	19	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	Force (intensity)	8	1	18	13	17	19	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11	Stress or pressure	10	13	29	35	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15
12	Shape	8	1	18	13	17	19	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	Stability of the object's composition	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
14	Strength	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
15	Duration of action by moving object	4	19	27	8	35	28	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
16	Duration of action by Stationary object	6	27	8	35	28	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	
17	Temperature	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
18	Illumination Intensity	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
19	Use of energy by moving object	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
20	Use of energy by stationary object	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
21	Power	8	1	18	13	17	19	19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	Loss of energy	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
23	Loss of Substance	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	Loss of Information	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
25	Loss of Time	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
26	Quantity of Substance	3	8	3	10	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	
27	Reliability	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
28	Measurement Accuracy	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
29	Manufacturing Precision	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
30	Object affected harmful factors	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
31	Object-generated harmful factors	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
32	Ease of manufacture	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
33	Convenience of Use	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
34	Ease of repair	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
35	Adaptability or versatility	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
36	Device complexity	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
37	Difficulty of detecting and measuring	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35	26	35	38	28	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3	27	29	10	3
38	Extent of automation	1	8	4	26	1	15	15	14	8	13	10	18	10	13	10	13	17	27	31	30	10	4	35	19	10	35																		

ANEXO 2
**Encuesta realizada a la comunidad
de artes**

Encuesta de máquina de impresiones artísticas

*Obligatorio

Datos del entrevistado

1. Edad: *

2. Sexo: *

Marca solo un óvalo.

Femenino

Masculino

3. Ocupación: *

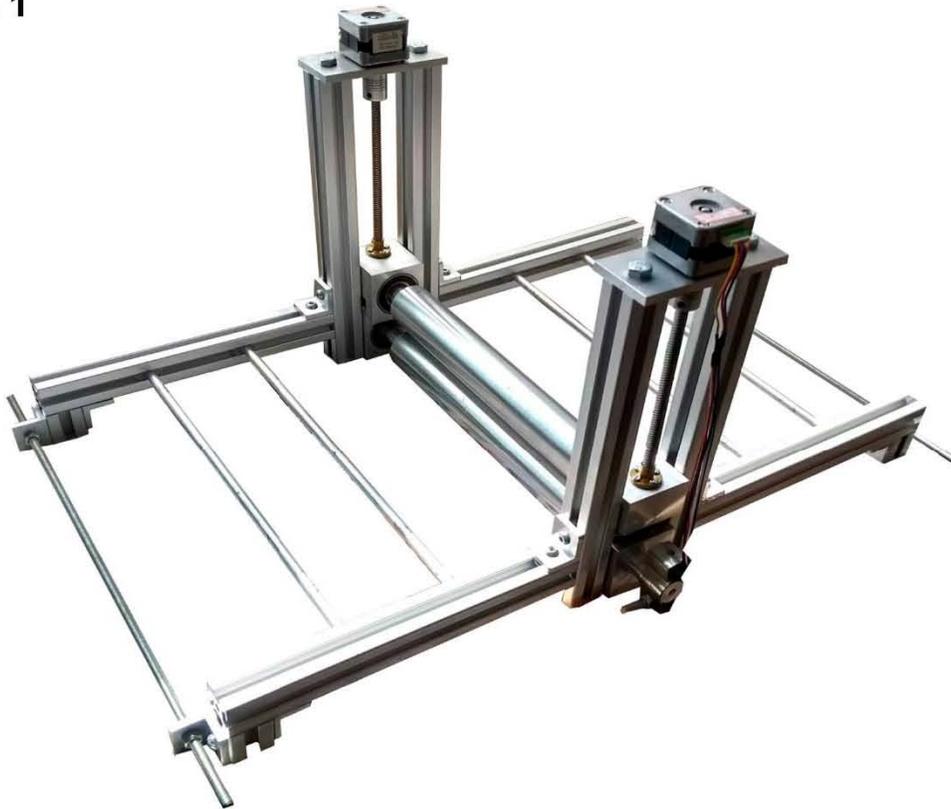
Primera parte

4. Con base en la presentación del tórculo de la Figura 1, contesta los siguientes reactivos. *

Marca solo un óvalo por fila.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Muy de acuerdo
Confianza para la impresión de grabados	<input type="radio"/>				
Ligera para moverse de un lugar a otro	<input type="radio"/>				
Seguridad de no romperse	<input type="radio"/>				
Facilidad para armarse	<input type="radio"/>				
Facilidad para la impresión de grabados	<input type="radio"/>				

Figura 1



5. ¿Piensas que se obtendrá una impresión de calidad? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

6. ¿Por que? *

7. ¿Podrías hacer uso de la maquina sin utilizar algún instructivo de operación? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

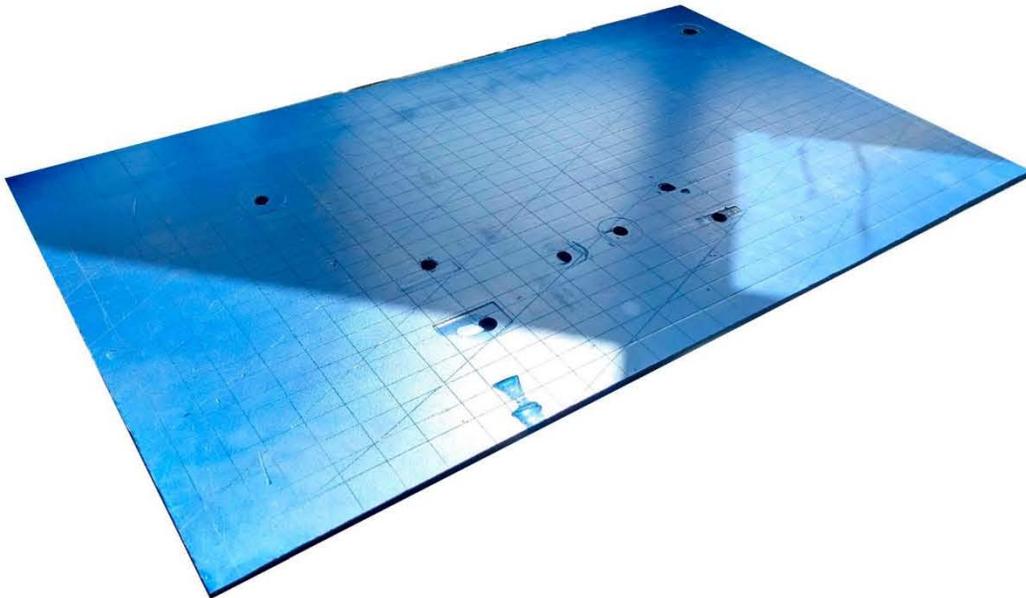
Segunda parte

8. Con base en la presentación de la platina de la Figura 2, contesta los siguientes reactivos. *

Marca solo un óvalo por fila.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Muy de acuerdo
Confianza para la impresión de grabados	<input type="radio"/>				
Ligera para moverse de un lugar a otro	<input type="radio"/>				
Seguridad de no romperse	<input type="radio"/>				

Figura 2



Tercera parte

9. ¿Estas familiarizado con el uso de los motores de control? *

Marca solo un óvalo.

- Nunca los he usado
- Los he usado pocas veces
- Los he usado en varias ocasiones
- Los uso frecuentemente

10. ¿Qué opinas del control preciso de la separación de los rodillos? *

11. ¿Piensas que el control preciso de la separación de rodillos sería útil en un ambiente donde muchas personas deban usar la máquina? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

12. ¿Por que?

13. ¿Piensas que para tu trabajo sería útil un control preciso de la separación de los rodillos? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

14. ¿Por que? *

Cuarta parte

15. ¿Qué opinas de controlar la maquina con una computadora o con un celular? *

16. **¿Con cuál preferirías controlar la máquina? ***

Marca solo un óvalo.

- Solo celular
- Solo computadora
- Ambos

17. **¿Piensas que el control automático de los rodillos facilitaría el trabajo de impresión? ***

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

18. **¿Por que? ***

19. **¿Piensas que el control automático de la separación de los rodillos haría más rápido el trabajo de impresión? ***

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

20. **¿Por que? ***

21. **Al ver la Figura 3, ¿Qué tan complicada consideras la interfaz de usuario? ***

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	
Difícil	<input type="radio"/>	Fácil				

Figura 3



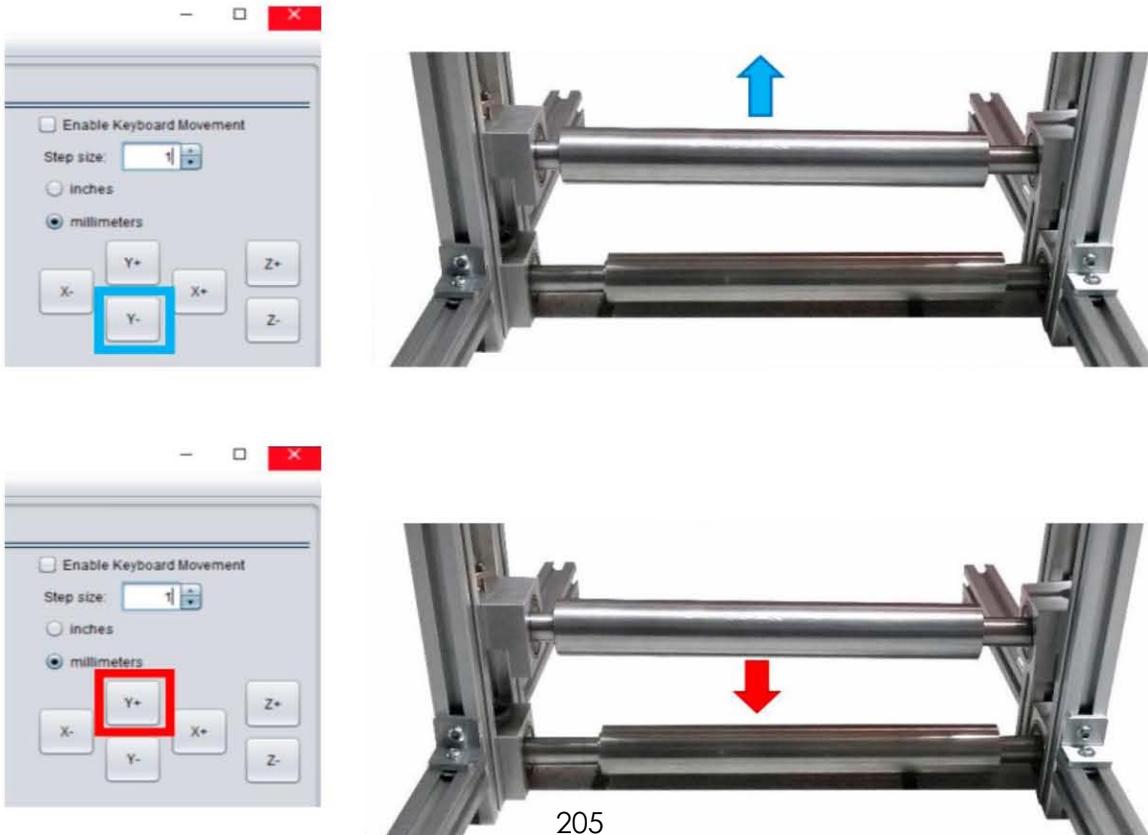
22. Observando el diagrama de la Figura 4, ¿Qué tan complicado consideras el uso del sistema automático? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Difícil Fácil

Figura 4



Quinta parte

23. Al ver este resultado de impresión de la Figura 5 ¿Te da más confianza la máquina? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

24. ¿Por que?

Figura 5



25. ¿Que opinas de la calidad de impresión? *

26. ¿Adquirirías la máquina si estuviera a la venta? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No

27. ¿Por que? *

28. ¿Cuál sería tu principal razón para adquirir la máquina? Puedes seleccionar las opciones de tu preferencia. *

Selecciona todos los que correspondan.

- Educativo
- Pasatimepo
- Para iniciar un negocio
- Producción artística
- Otro: _____

Sexta parte

29. Si adquirieras alguna de las máquinas mostradas en la Figura 6 ¿Cuál opción escogerías? *

Marca solo un óvalo.

- a) Impresión manual con un volante y una maquina más económica.
- b) Impresión automática con un motor y una maquina con mayor costo.

Figura 6

	
a) Impresión manual con un volante y una maquina más económica.	b) Impresión automática con un motor y una maquina con mayor costo.

ANEXO 3
**Planos de fabricación de una
máquina para la impresión de
estampas de matrices en relieve en
plano y en hueco**

CONFIDENTIAL

4

3

2

1

A

B

C

D

4

3

2

1

A

D

CONFIDENTIAL

210

A

B

C

D

4

3

2

1

4

3

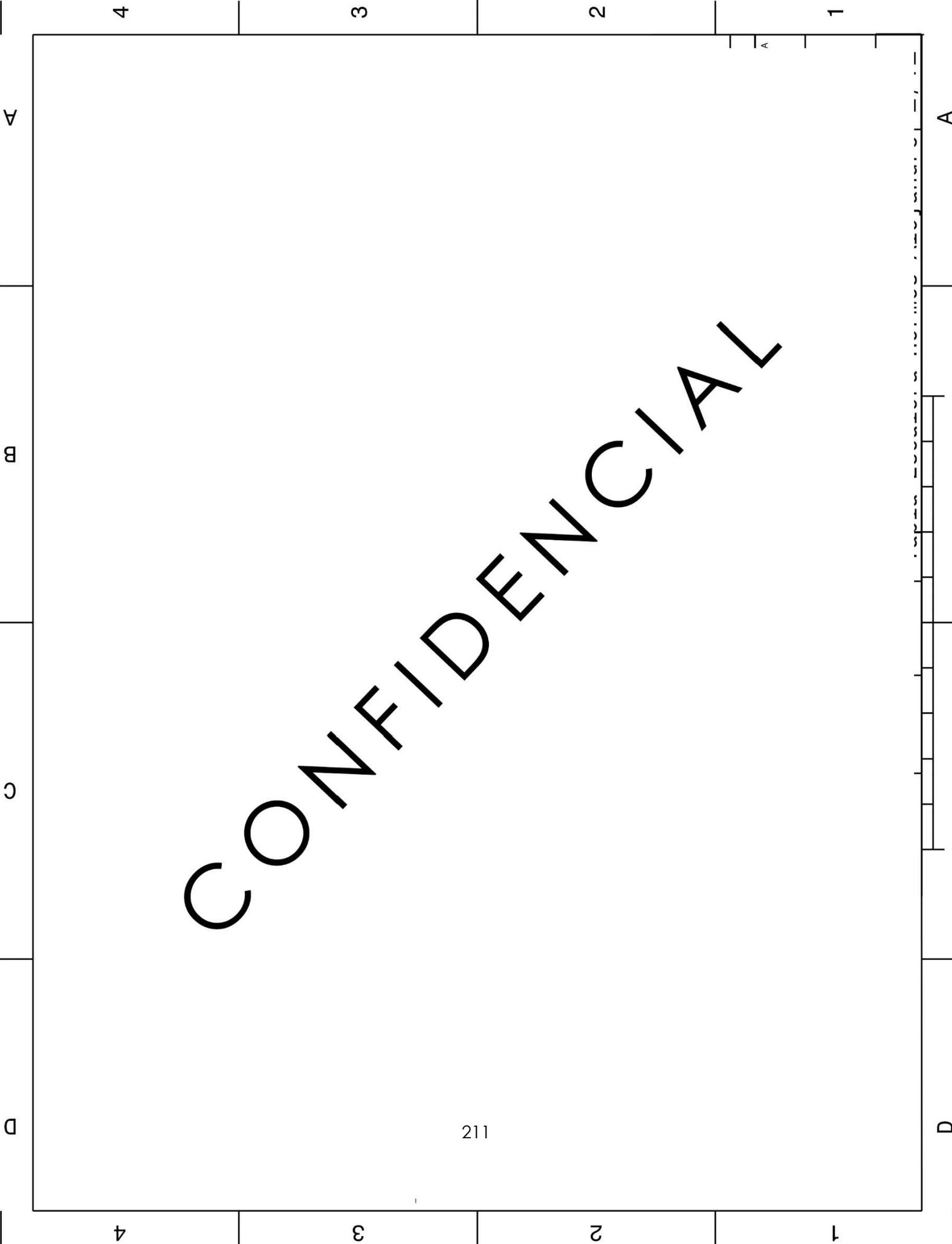
2

1

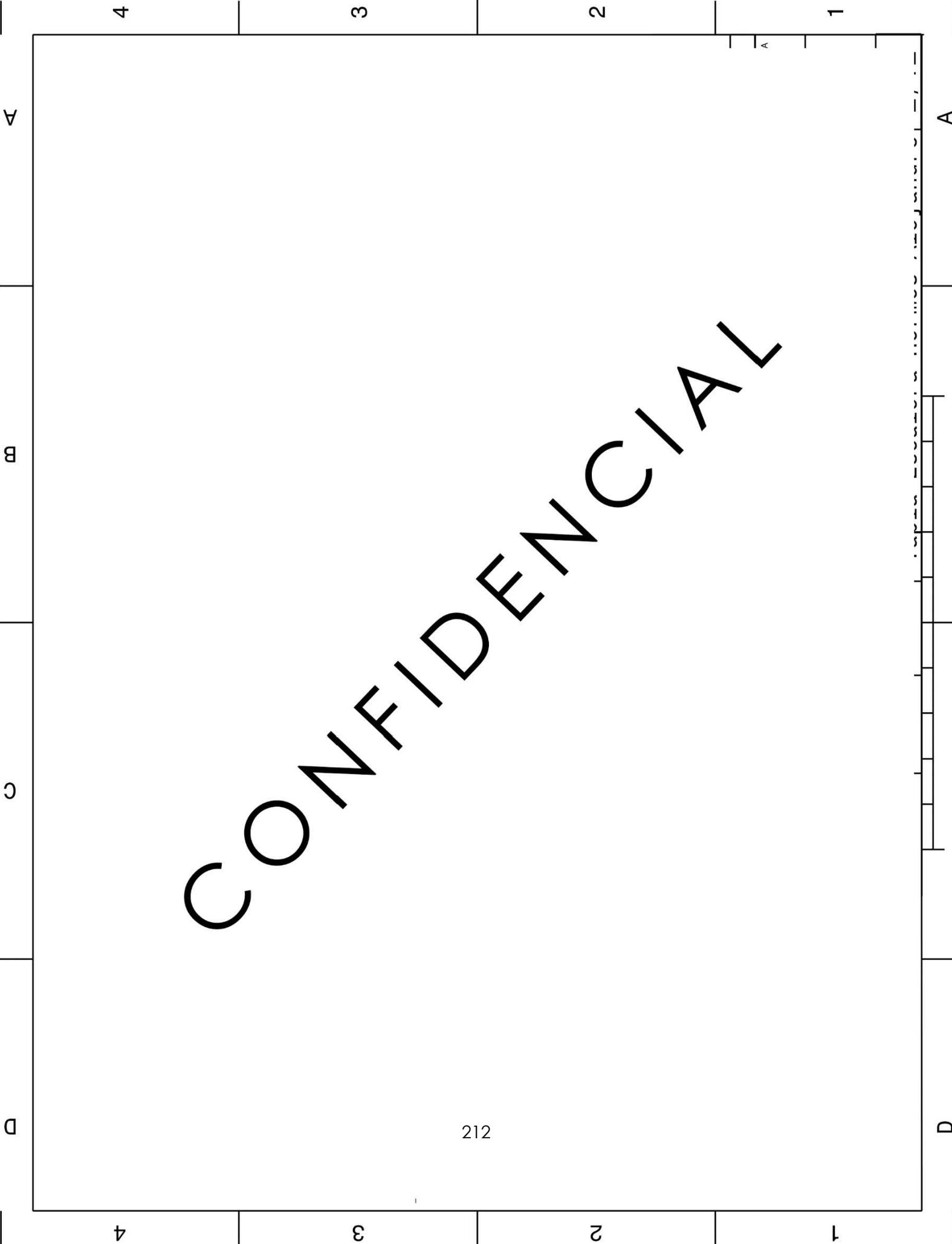
A

D

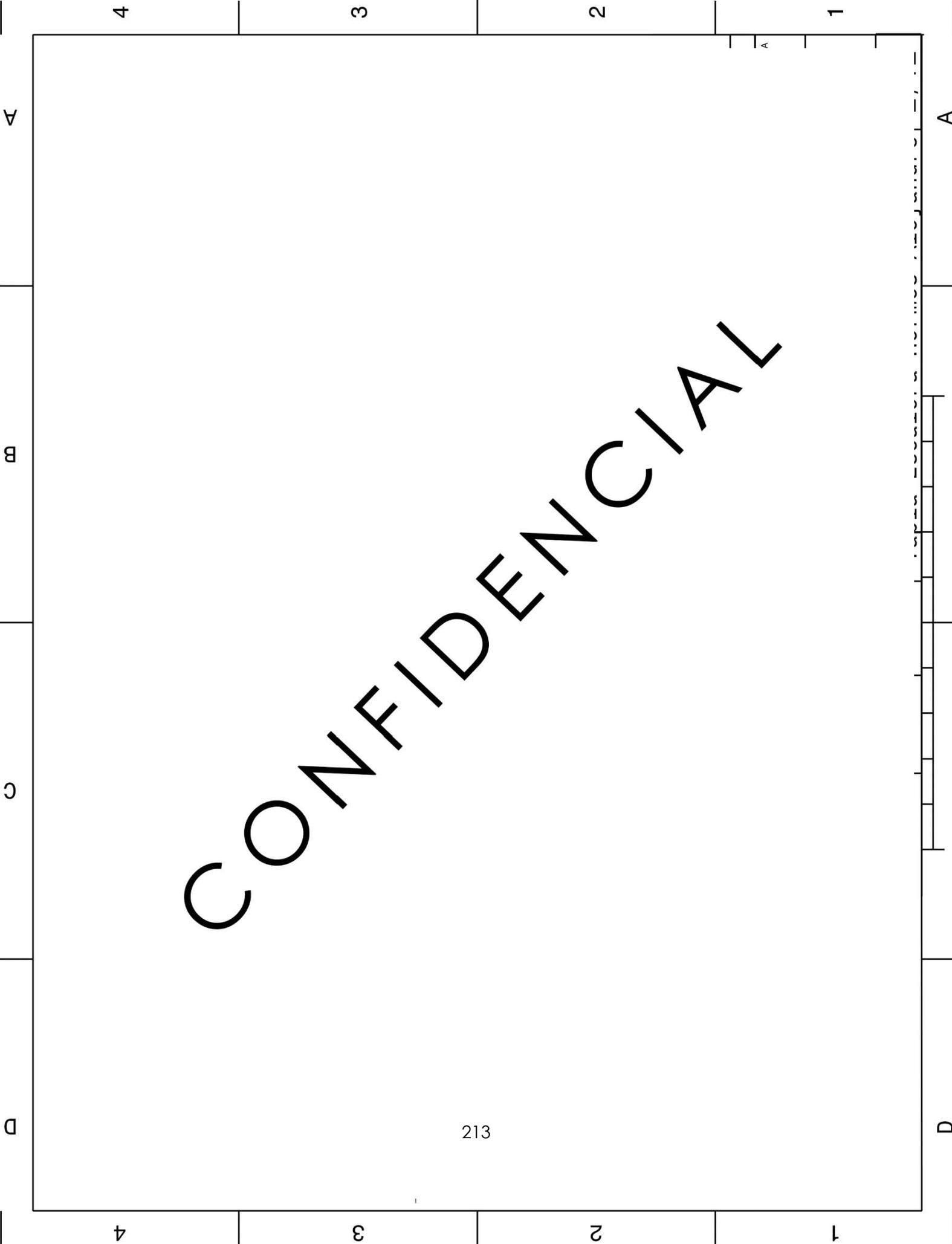
CONFIDENTIAL



CONFIDENTIAL



CONFIDENTIAL



CONFIDENTIAL

4

3

2

1

4

3

2

1

A

B

C

D

A

D

CONFIDENTIAL

A
B
C
D

A
D

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

CONFIDENTIAL

4

3

2

1

4

3

2

1

A

B

C

D

A

D

CONFIDENTIAL

A
B
C
D

A
D

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

CONFIDENTIAL

A
B
C
D

A
D

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

CONFIDENTIAL

A
B
C
D

A
D

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

CONFIDENTIAL

220

A

B

C

D

4

3

2

1

4

3

2

1

A

D

ANEXO 4

Planos de fabricación del modelo funcional

CONFIDENTIAL

4

3

2

1

4

3

2

1

A

B

C

D

A

D

CONFIDENTIAL

A

B

C

D

4

3

2

1

A

D

4

3

2

1

CONFIDENTIAL

A

B

C

D

4

3

2

1

4

3

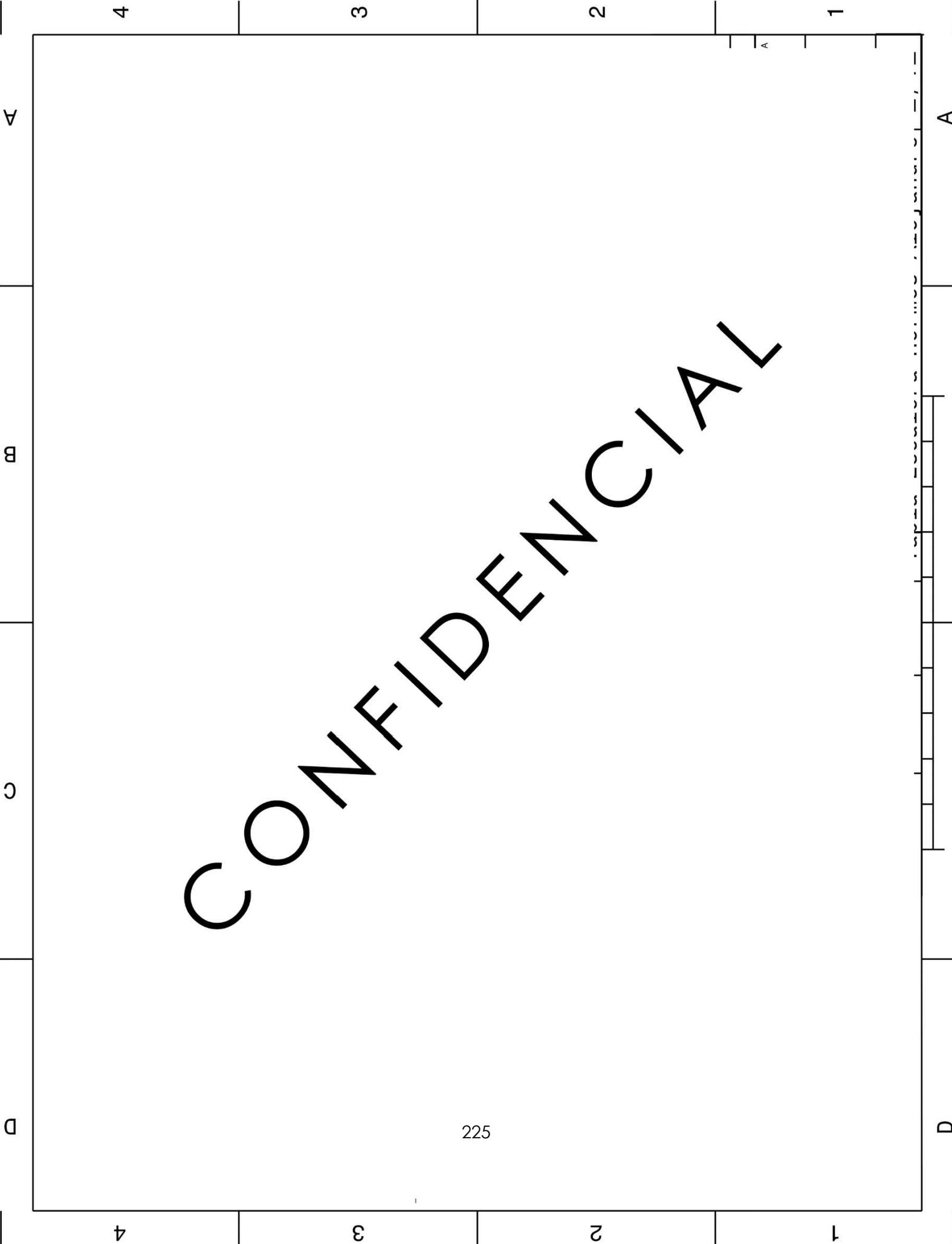
2

1

A

D

CONFIDENTIAL



CONFIDENTIAL

A

B

C

D

4

3

2

1

A

D

4

3

2

1

CONFIDENTIAL

A
B
C
D

A
D

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

4
3
2
1

CONFIDENTIAL

4

3

2

1

A

B

C

D

A

D

4

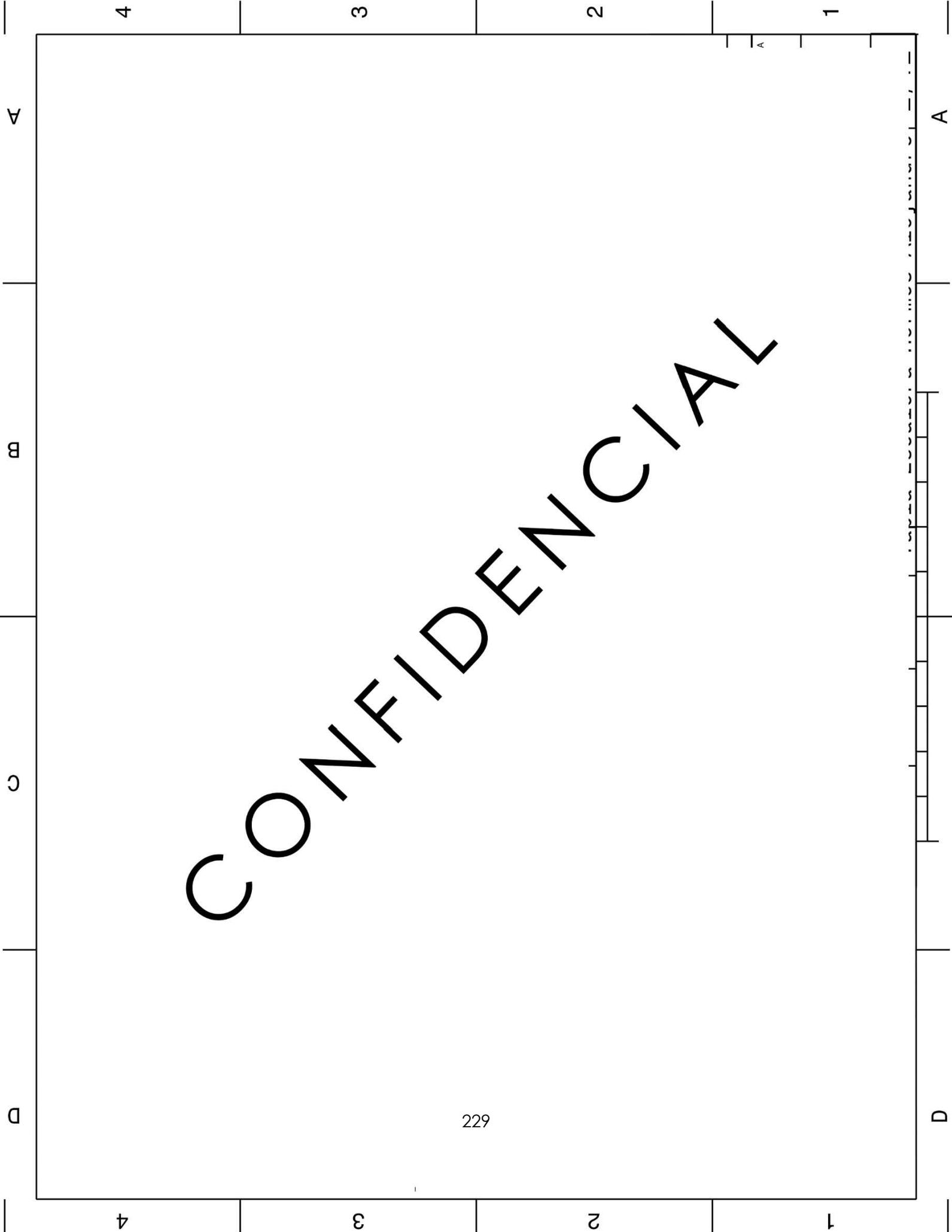
3

2

1

A

CONFIDENTIAL



CONFIDENTIAL

4

3

2

1

4

3

2

1

A

B

C

D

A

D

CONFIDENTIAL

A

B

C

D

4

3

2

1

4

3

2

1

A

D