



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**REALIZADO POR:**

**RAMIRO DAVID MÁRMOL ALDANA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA  
PARA PLACAS DE CIRCUITO (PCB) EN BASE A UNA  
IMPRESORA COMERCIAL**

**DIRECTOR: ING. PAÚL AYALA**

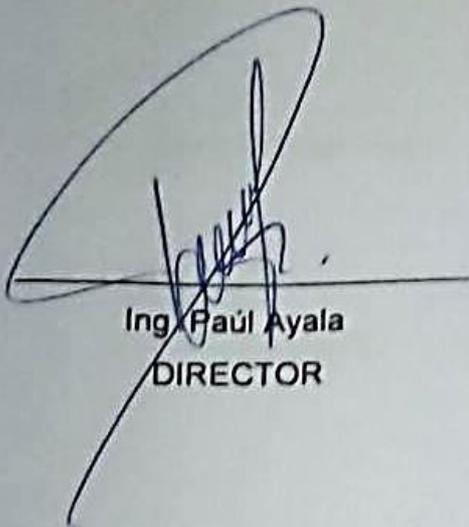
**CODIRECTOR: ING. FRANCISCO TERNEUS**

**SANGOLQUÍ**

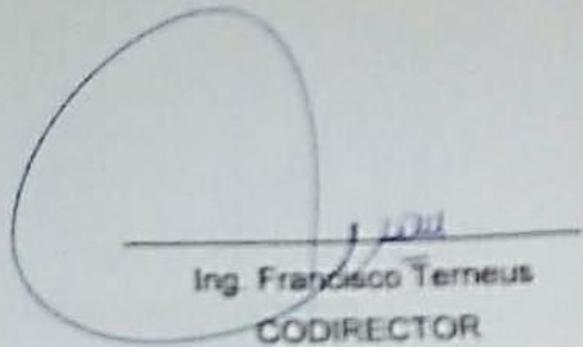
**2015**

**CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA PARA PLACAS DE CIRCUITO (PCB) EN BASE A UNA IMPRESORA COMERCIAL" fue realizado en su totalidad por Ramiro David MármoI Aldana, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.



Ing. Paúl Ayala  
DIRECTOR



Ing. Francisco Terneus  
CODIRECTOR

Sangolquí, Julio 2015

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA PARA PLACAS DE CIRCUITO (PCB) EN BASE A UNA IMPRESORA COMERCIAL"**

**ELABORADO POR:**



**Ramiro David Mármol Aldana**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

---

**Ing. Francisco Termeus**

**Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

**Sangolqui, Julio 2015**

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

## AUTORIZACIÓN

Yo, Ramiro David Mármol Aldana

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA IMPRESORA PARA PLACAS DE CIRCUITO (PCB) EN BASE A UNA IMPRESORA COMERCIAL", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.



Ramiro David Mármol Aldana

Sangolquí, Julio 2015

## **DEDICATORIA**

A mi madre Rosa Aldana por ser la luz que me ilumina a seguir a delante, por ser ejemplo de lucha, esfuerzo y sacrificio, por ser el calor que abriga mi espíritu en los momentos difíciles de la vida.

**RAMIRO DAVID MARMOL ALDANA**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por su infinito amor, por ser la fuerza que me anima a continuar cuando siento las sombras del fracaso y por darme la oportunidad de vivir aquí y ahora, rodeado de tantas personas que respeto y estimo mucho.

Agradezco a mi familia por siempre estar presentes cuando más los necesito, en especial a mi madre, sin su apoyo este proyecto no sería una realidad.

Agradezco al Ing. Paúl Ayala, por su guía y colaboración en la ejecución del presente proyecto.

Agradezco a las autoridades de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, Ing. Francisco Terneus por siempre estar dispuesto ayudar a todos los estudiantes, y Ab. María Fernanda Jaramillo por su apoyo y serio compromiso con su gestión.

Agradezco a todos mis amigos por su aprecio y apoyo.

Agradezco a todas las que personas que de una u otra manera han aportado para la realización de este proyecto.

**RAMIRO DAVID MÁRMOL ALDANA**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
ÍNDICES DE ANEXOS .....	xix
RESUMEN .....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.1.1 Breve descripción de técnicas de grabado. ....	2
1.1.1.1 Grabado con Ácidos cáusticos.....	2
1.1.1.2 Grabado electroquímico (Soluciones de sales).....	3
1.1.1.3 Grabado electrolítico o anódico. ....	4
1.1.1.4 Grabado mecánico.....	5
1.1.1.5 Grabado láser. ....	7
1.1.2 Análisis técnicas de grabado. ....	7
1.1.3 Planteamiento del problema. ....	8

1.2 Justificación e importancia .....	8
1.3 Objetivos .....	10
1.3.1 Objetivo General .....	10
1.3.2 Objetivos Específicos.....	10
1.4 Alcance .....	11
1.4.1 Producto final.....	11
1.4.1.1 Hardware. ....	11
1.5 Impresora base: Breve descripción de alternativas .....	12
1.5.1 Impresora láser. ....	12
1.5.2 Impresora a inyección de tinta. ....	13
1.5.2.1 Impresoras termoeléctricas.....	14
1.5.2.2 Impresoras piezoeléctricas. ....	15
1.6 Análisis de alternativas y selección de la impresora base. ....	15
1.6.1 Selección impresora base.....	16
1.6.1.1 Resolución. ....	16
1.6.1.2 Tecnología de impresión.....	17
1.6.1.3 Costo de consumibles.....	17
1.6.1.4 Disponibilidad de repuestos. ....	17
1.6.1.5 Capacidad para admitir diferentes tipos de tintas. ....	17
1.6.1.6 Costo de la máquina. ....	17
CAPÍTULO 2.....	20
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	20
2.1 Etapa de suministro .....	20

2.1.1 Soporte de alimentación .....	20
2.1.2 Bandeja porta placa .....	21
2.1.3 Modificación del receptáculo de admisión.....	22
2.1.3.1 Elementos que se retiran por impedir la impresión .....	22
2.1.3.2 Elementos que se retiran por no cumplir ninguna función .....	23
2.1.3.3 Elementos que se modifican .....	23
2.2 Transporte.....	25
2.3 Etapa de transferencia de la información.....	26
2.4 Etapa de curado/ Etapa de recepción del producto terminado .....	28
CAPÍTULO 3.....	30
DISEÑO MECATRÓNICO .....	30
3.1 Diseño Mecánico .....	30
3.1.1 Modificación de elementos que necesitan reformarse. ....	30
3.1.1.1 Auto Sheet Feeder Assembly (ASF-ASSY). ....	30
3.1.1.2 Conformación del habitáculo de admisión. ....	34
3.1.1.3 Carcasa.....	35
3.1.2 Diseño elementos mecánicos. ....	37
3.1.2.1 Bandeja porta PCB. ....	37
3.1.2.2 Módulo soporte de alimentación. ....	41
3.1.2.3 Módulo de curado. ....	44
3.1.2.4 Soporte lateral derecho e izquierdo del eje que guía el cabezal. ....	48
3.1.3 <i>Análisis del factor</i> de seguridad .....	59
3.2 Descripción del sistema de control .....	60

3.2.1 Instrumentación de la impresora para PCB. ....	61
3.2.1.1 Detalle de sensores. ....	62
3.2.2 Funcionamiento de la máquina impresora. ....	63
3.2.2.1 Descripción proceso de funcionamiento de la impresora base. ....	63
3.2.3 Sistema de control central.....	65
3.3 Selección de elementos adicionales .....	66
3.3.1 AUTO SHEET FEEDER de la impresora Canon BJC-2100.....	66
3.3.2 DAMPERS. ....	66
3.3.3 Chip Epson T50 para sistema de continuo de tinta.....	67
3.3.4 Panel de luz led Ultravioleta.....	67
3.3.4.1 Calculo de la iluminación. ....	68
3.3.5 Tinta de curado con luz ultravioleta. ....	70
3.3.6 Rejilla base. ....	71
CAPÍTULO 4.....	72
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN .....	72
4.1 Componentes mecánicos.....	72
4.1.1 Bandeja porta PCB. ....	72
4.1.1.1 Construcción de la bandeja porta PCB. ....	72
4.1.1.2 Implementación de la bandeja porta PCB.....	74
4.1.2 Módulo soporte de alimentación. ....	74
4.1.2.1 Construcción del soporte de alimentación. ....	74
4.1.2.2 Implementación del soporte de alimentación. ....	76
4.1.3 Modulo de curado. ....	76
4.1.3.1 Construcción del módulo de curado.....	76

4.1.3.2 Implementación del módulo de curado. ....	77
4.1.4 Soporte lateral derecho e izquierdo del eje que guía el cabezal. ....	78
4.1.4.1 Construcción de los soportes del eje. ....	78
4.1.4.2 Implementación de los soportes del eje. ....	79
4.2 Componentes eléctricos y/o electrónicos. ....	81
4.2.1 Panel de luces led ultravioleta. ....	81
4.2.1 Fuente de alimentación para el panel de luces led ultravioleta. ....	81
4.3 Implementación nuevo sistema de tinta. ....	82
4.3.1 Limpieza del cabezal. ....	82
4.3.2 Adaptación de la nueva tinta. ....	83
4.4 Máquina impresora PCB. ....	84
CAPÍTULO 5. ....	86
PRUEBAS Y RESULTADOS. ....	86
5.1 Sistema mecánico. ....	86
5.1.1 Prueba de transporte. ....	86
5.2 Sistema eléctrico/electrónico. ....	87
5.2.1 Prueba del sistema. ....	87
5.3 Producto entregado por la impresora. ....	88
5.3.1 Calidad del estampe. ....	88
5.3.1 Prueba resistencia al ataque químico. ....	88
CAPÍTULO 6. ....	90
ANÁLISIS DE COSTOS. ....	90
6.1 Costos directos. ....	90
6.2 Costos indirectos. ....	91

6.3 Costo total del prototipo .....	92
CAPÍTULO 7.....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
7.1 Conclusiones .....	93
7.2 Recomendaciones .....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición del Intercambio Comercial Mundial. ....	1
Figura 2: Irregularidades en una PCB hecha con Fresa CNC. ....	6
Figura 3: Morfología de un fusor .....	12
Figura 4: Diagrama del fusor.....	13
Figura 5: Proyección grafica de una posible solución para el soporte de alimentación.....	20
Figura 6: Proyección grafica de una posible solución para la bandeja porta placa. ....	21
Figura 7: Feed roller, Epson Stylus Photo t50. ....	22
Figura 8: Torsion Spring y Guide Roller, Epson Stylus Photo t50.....	23
Figura 9: Fotografía de la parte superior y posterior de impresora Epson Stylus Photo t50.....	24
Figura 10: ASF ASSY (Auto Sheet Feeder Assembly), Epson Stylus Photo t50.....	24
Figura 11: Soportes originales del eje que guía el cabezal de impresión. ....	25
Figura 12: Cartucho tipo damper para cabezal Epson DX5 tinta solvente. ....	27
Figura 13: Proyección grafica de una posible solución para la etapa de curado.....	28

Figura 14: Proyección grafica de una posible configuración física de la Impresora PCB.....	29
Figura 15: Diagrama área sujeta a modificación Auto Sheet Feeder Assembly, Epson Stylus Photo T50.....	31
Figura 16: ASF ASSY, Epson Stylus Photo t50: Nuevo aspecto y área de corte.....	32
Figura 17: Epson Base del ASF ASSY con vinilo autoadhesivo Scotchcal. ....	33
Figura 18: Partes retiradas del ASF ASSY, Epson Stylus Photo t50.....	33
Figura 19: Nuevo aspecto del conjunto ASF ASSY .....	34
Figura 20: Ubicación de la rejilla base. ....	34
Figura 21: Medidas rejilla base habitáculo de recepción. ....	35
Figura 22: Habitáculo de recepción parte superior e inferior. ....	35
Figura 23: Diagrama ASF ASSY, Epson Stylus Photo t50: Nuevo aspecto y área de corte .....	36
Figura 24: Diagrama PAPER GUIDE UPPER ASSY, Epson Stylus T50.....	38
Figura 25: Margen de bandeja porta placa .....	39
Figura 26: Diagrama: Medidas de ceja en bandeja porta placa .....	40
Figura 27: Diagrama: bisel bandeja porta placa .....	40
Figura 28: Diagrama módulo soporte de alimentación.....	43
Figura 29: Diagrama módulo de curado. A: destajos. B: entrada.....	46
Figura 30: Diagrama módulo de curado.....	48

Figura 31: Medición del soporte izquierdo con calibrador pie de rey.....	49
Figura 32: Modelo soportes del eje del cabezal. A: derecho. B: izquierdo .....	49
Figura 33: Elemento tetraédricos lineales y parabólicos.....	53
Figura 34: Distribución de los puntos de integración gaussianos en elementos finitos planos. ....	54
Figura 35: Mallado del soporte izquierdo, previo a la ejecución de la simulación .....	55
Figura 36: Mallado del soporte derecho, previo a la ejecución de la simulación.....	58
Figura 37: Diagrama de motores y sensores Epson T50.....	61
Figura 38: Diagrama de funcionamiento de la máquina impresora.....	64
Figura 39: Diagrama de del sistema de control central.....	65
Figura 40: Auto sheet feeder Canon BJC-2100 .....	66
Figura 41: Cartuchos tipo damper DX5 Epson T50 tinta solvente. ....	66
Figura 42: Chip Epson T50 para sistema de continuo de tinta. ....	67
Figura 43: Panel de luces led UV 12v.....	67
Figura 44: Definición estereorradianes. ....	68
Figura 45: Tinta Galaxy UV Ink Modelo JUE, para cabezal Epson DX5.....	70
Figura 46: Rejilla base para conformar el habitáculo de admisión.....	71
Figura 47: Diseño concluyente en SolidWorks de bandeja porta PCB .....	73

Figura 48: Bandeja Porta PCB: izquierda soporte sin bandeja, derecha soporte con bandeja.....	74
Figura 49: Diseño concluyente en SolidWorks del soporte de alimentación.....	75
Figura 50: Resultado definitivo Módulo soporte de alimentación .....	76
Figura 51: Perspectiva del diseño concluyente en SolidWorks del módulo de curado: derecha vista frontal, izquierda de sección transversal .....	77
Figura 52: Resultado definitivo Módulo de curado .....	77
Figura 53: Diseño concluyente en SolidWorks del soporte izquierdo .....	78
Figura 54: Diseño concluyente en SolidWorks del soporte derecho .....	78
Figura 55: Resultado definitivo soporte izquierdo: izquierda antiguo soporte, derecha nuevo soporte.....	79
Figura 56: Resultado definitivo soporte derecho: izquierda antiguo soporte, derecha nuevo soporte .....	79
Figura 57: Fotografía del soporte izquierdo instalado en la impresora.....	80
Figura 58: Fotografía del soporte derecho instalado en la impresora.....	80
Figura 59: Iluminación led UV, izquierda en módulo de curado y derecha en la cubierta de la impresora.....	81

Figura 60: Alimentación panel led, Izquierda fuente de alimentación 110v/120v- 12v y derecha conector hembra 12v en impresora.....	81
Figura 61: Limpieza del cabezal de impresión.....	83
Figura 62: Instalación del chip de sistema continuo de tinta.....	83
Figura 63: Instalación de los cartuchos con el chip de sistema continuo de tinta.....	84
Figura 64: Máquina impresora PCB vista superior.....	85
Figura 65: Máquina impresora PCB vista frontal.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Selección de impresora base matriz de decisión .....	18
Tabla 2 Selección del material para módulo de alimentación, matriz de decisión .....	43
Tabla 3 Selección del material para módulo de curado, matriz de decisión.....	47
Tabla 4: Propiedades del material de soporte izquierdo .....	51
Tabla 5: Cargas que tolera el soporte izquierdo .....	51
Tabla 6 Sujeciones del soporte izquierdo .....	52
Tabla 7: Información de la malla para el análisis del soporte izquierdo .....	53
Tabla 8: Resultado análisis del factor de seguridad en el soporte izquierdo .....	55
Tabla 9: Propiedades del material del soporte derecho .....	56
Tabla 10: Cargas que tolera el soporte derecho .....	56
Tabla 11: Sujeciones del soporte derecho .....	57
Tabla 12: Información de la malla para el análisis del soporte derecho.....	58
Tabla 13: Resultado análisis del factor de seguridad en el soporte derecho.....	59
Tabla 14: Detalle de sensores, impresora Epson Stylus Photo T50 .....	62
Tabla 15: Propiedades del material ABS Acrilonitrilo butadieno estireno .....	73

Tabla 16: Propiedades del material PMMA Polimetilmetacrilato (Acrílico).....	74
Tabla 17 Resultados prueba de transporte.....	86
Tabla 18 Resultados pruebas del sistema .....	87
Tabla 19 Resultados prueba estampe en la PCB .....	88
Tabla 20 Resultados prueba ataque químico .....	88
Tabla 21: Costo total de materiales, accesorios y equipos empleados en la maquina impresora .....	90
Tabla 22: Costo total de construcción de elementos empleados en la impresora PCB.....	91
Tabla 23: Valor total de costos indirectos para la realización del proyecto .....	92

## ÍNDICES DE ANEXOS

ANEXO A	PLANO SOPORTE EJE DERECHO DEL CABEZAL
ANEXO B	PLANO SOPORTE EJE DERECHO DEL CABEZAL
ANEXO C	PLANO INSTALACION ELECTRICA DEL PANEL DE LUZ LED
ANEXO D	MANUAL DE USUARIO

## RESUMEN

El proyecto que se presenta a continuación denominado “Diseño y Construcción de una Impresora para Placas de Circuito (PCB) en Base a una Impresora Comercial” consiste en diseñar y construir una impresora que permita estampar las pistas de un determinado circuito directamente sobre el material de la placa, teniendo como base las piezas, mecanismos y tecnología de una impresora comercial. El control que monitoreará la máquina será el mismo control con el cual cuenta la impresora base, que es un sistema de control en lazo abierto el cual verificará la presencia del sustrato imprimible (placas de cobre) para iniciar la impresión.

Las modificaciones que sufra la impresora base para alcanzar el objetivo, se centraran en las etapas de alimentación, transporte, etapa de transferencia de la información, etapa de fijación y etapa de recepción del producto terminado.

Un paso clave en la fabricación de circuitos impresos, mediante el método de grabado electrolítico y electroquímico; es el estampe de las pistas a generarse en la PCB, previo a la fase de grabado. Ya que la calidad de las pistas depende en gran medida de la condición del circuito estampado. Es importante construir una impresora para PCB, que permita imprimir directamente sobre la placa, con lo cual se conseguirá un importante ahorro de tiempo, mano de obra y recursos en la tarea de fabricación de circuitos impresos.

Esta tecnología estará al alcance de toda la sociedad principalmente estudiantes, técnicos e investigadores para promover un mejor aprendizaje e investigación de los circuitos electrónicos.

**PALABRAS CLAVES: PCB (PLACA DE CIRCUITO IMPRESO), IMPRESIÓN, CIRCUITO ELECTRÓNICO, GRABADO, FABRICACIÓN DE CIRCUITOS.**

## ABSTRACT

The project presented below entitled "Design and Construction of a printer for Printed Circuit Boards (PCB) based on a commercial printer" is to design and build a printer that allows printing tracks of a given circuit directly on the material plate, based on the pieces, mechanisms and a commercial printer technology. The control monitor machine will have the same printer control base, which is a system of open loop control which checks the presence of the printable substrate (copper plates) to start printing.

The changes made in the printer base to reach the target, to focus on the stages of supply, transportation, transfer stage information, fixing stage and receiving finished product stage.

A key step in the manufacture of printed circuits by the method of electrolytic and electrochemical etching; It is the stamp of the tracks on the PCB to be generated prior to the etching phase. Since the quality of the pattern depends largely on the condition of the circuit pattern. It is important to build a printer for PCB, which allows printing directly on the plate, whereby a significant savings in time, manpower and resources in the manufacturing printed circuits.

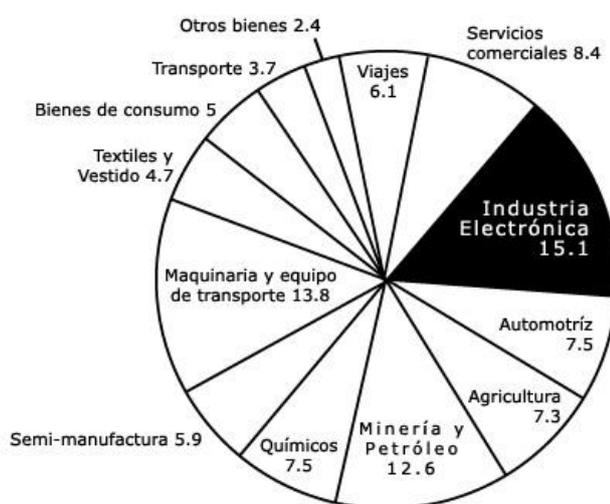
This technology will be available to the whole society mainly students, technicians and researchers to promote better learning and research of electronic circuits.

**KEYWORDS: PCB (PRINTED CIRCUIT BOARD), PRINT, ELECTRONIC CIRCUIT, ENGRAVING, CIRCUIT MANUFACTURING.**

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El progresivo avance tecnológico en la creación de circuitos electrónicos ha permitido a varios países (tales como: China, Japón o Rusia) robustecer su economía al desarrollar productos electrónicos basados en **placas de circuito impreso (PCB)** por sus siglas en inglés "*Print circuit board*"). Debido a que la industria electrónica ocupa un porcentaje importante dentro del intercambio comercial mundial, como se puede ver en la Figura 1, por este motivo es vital iniciar un proceso de investigación para el desarrollo de tecnologías que permitan crear placas de circuito impreso.



**Figura 1: Composición del Intercambio Comercial Mundial.**  
Fuente: (Organización Mundial del Comercio, 2013)

Lastimosamente en Ecuador no se cuenta con la tecnología adecuada para iniciar una producción de PCB's, solo existen dos empresas en todo el país que se dedican a fabricar circuitos impresos: Smelektronik y Tarpuq (Superintendencia de Compañías, 2015)

Conseguir esta tecnología resulta un tanto difícil y nada económico. Por ejemplo en la ciudad de Cuenca se encuentra la fábrica Smelektronik que

cobra el valor de \$ 58.82 + IVA por una placa simple PCB de una sola cara de tamaño A4, este valor no cubre: elementos electrónicos, ensamblaje, soldadura, máscara antisolder, máscara silk screen ni pistas estañadas (SMELEKTRONIK, 2013). Lo cual hace que sea un valor muy elevado.

Para el desarrollo de circuitos impresos actualmente se cuenta con las siguientes técnicas de grabado:

- Grabado con Ácidos cáusticos (por ejemplo: Ácido sulfúrico o Ácido nítrico).
- Grabado electroquímico (Soluciones de sales, por ejemplo: Cloruro férrico)
- Grabado electrolítico o anódico.
- Grabado Mecánico.
- Grabado laser.

### **1.1.1 Breve descripción de técnicas de grabado.**

#### ***1.1.1.1 Grabado con Ácidos cáusticos.***

##### *Descripción*

Consiste en trazar el diseño del circuito con una base o barniz resistente al ácido nítrico o sulfúrico sobre la PCB, luego la placa se sumerge en un baño de ácido que ataca el metal expuesto. Posteriormente se quita el barniz con alcohol o con thinner.

##### *Ventajas*

- Rápida acción
- Bajo costo

##### *Desventajas*

- Se obtienen **desechos tóxicos** perjudiciales para el medio ambiente y para quien lo utiliza. (Hernández F. , 2011)

### **1.1.1.2 Grabado electroquímico (Soluciones de sales).**

#### *Descripción*

Consiste en trazar el diseño del circuito mediante cualquiera de estas técnicas: termotransferencia, serigrafía, método fotosensible, o con marcador de tinta indeleble, a continuación se emplean soluciones de sales como el cloruro férrico que incluyen iones metálicos más reactivos que el metal de la placa de grabado y por lo tanto, la corroen (estas soluciones se denominan mordentes). Al final de cuentas, lo que ocurre entre el mordente y la placa metálica, es un robo de electrones, pues el ion activo del mordente arranca los electrones del metal, erosionando su superficie, lo que equivale a grabar la placa. Luego se quita el trazo del circuito utilizando un solvente adecuado.

#### *Ventajas*

- Rápida acción; el tiempo aproximado de gestión es de 30 minutos en una superficie de 10cm por 7cm, esto depende de la concentración y temperatura de la solución, también si hay un sistema de oxigenación y agitación que acelere o retarde el proceso.
- Bajo costo; una porción para grabar una superficie de 15cm por 15 cm tiene un costo de 0,95 dólares. (Megatronica, 2015)
- Las soluciones de sales pueden ser reutilizadas.
- Cuando las soluciones de sales se saturan del metal a disolver, se puede regenerar las soluciones mediante electrodeposición.
- Cuando las soluciones de sales se saturan del metal a disolver, se pueden usar como materia prima para esmalte cerámico.

#### *Desventajas*

- Si se desecha la solución de sales con cobre disuelto, puede ser nocivo para el medio ambiente. (Hernández, Murillo, & Cambronero, 2009)

### **1.1.1.3 Grabado electrolítico o anódico.**

#### *Descripción*

Desde el punto de vista técnico, una de las opciones más simples para grabado no tóxico es la electrólisis, pues la descripción del método, los principios físicos que le rigen son sencillos, se requiere poco equipo y el **electrolito no se consume** por lo cual se puede seguir usando por mucho tiempo.

Para grabar utilizando este método se debe trazar el diseño del circuito mediante cualquiera de estas técnicas: termotransferencia, serigrafía, método fotosensible, o con marcador permanente de tinta indeleble; a continuación se ejecuta la electrólisis, y posteriormente se limpia el trazado de las pistas.

El principio de funcionamiento de este método de grabado parte de la utilización dos placas de metal: placa de grabado y placa receptora, ambas sumergidas en una solución que contenga iones del mismo metal (que la placa de grabado), denominada electrolito, que en realidad es un conductor líquido para cerrar el circuito eléctrico formado por las dos placas, conectadas a una fuente de corriente directa. Con este sistema se puede trabajar fácilmente placas de cobre, hierro o aluminio, empleando como electrolito soluciones de sulfato de cobre, cloruro ferroso o sulfato de aluminio (alumbre), respectivamente.

Otro aspecto a considerar es la placa receptora. El método indica que el sistema se completa con dos placas de metal. La primera (placa a ser grabada) se conectada al polo positivo o ánodo y la otra (placa receptora) al negativo o cátodo. La función de esta segunda placa es recibir los iones arrancados de la primera. Por lo cual la placa receptora debe ser de un metal más económico.

Por ejemplo, si se graba una placa de cobre, en el electrodo negativo se coloca una pieza de aluminio, que puede ser desde una lámina de metal,

hasta una hoja de papel aluminio. El requisito fundamental es que la placa receptora sea al menos del mismo tamaño que la placa de grabado e idealmente más grande.

*Puntos importantes:*

- La rapidez de acción depende de la intensidad que suministra la fuente de corriente directa, con una intensidad de 350mA se logra crear surcos de 0,1mm de profundidad en 12 minutos. (Hernández F. , 2011)

*Ventajas*

- Bajo costo.
- El electrolito no se consume y se puede seguir usando por mucho tiempo.
- El cobre no se disuelve en el electrolito, y no hay soluciones restantes con cobre disuelto.

*Desventajas*

- Es necesaria la utilización de energía eléctrica para que funcione este método. (Hernández F. , 2011)

**1.1.1.4 Grabado mecánico.**

*Descripción*

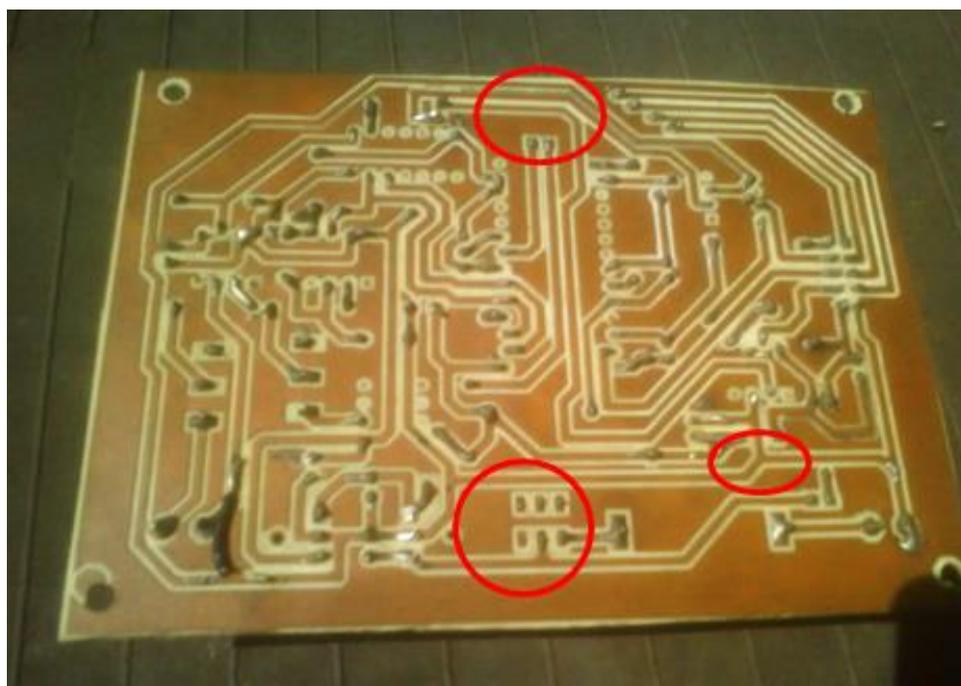
Consiste en la remoción directa de material de la placa de cobre, por arranque de viruta, mediante la utilización de una fresa CNC.

*Ventajas*

- Se evita el trazado del circuito sobre la placa.
- Residuos generados son polvo que se puede recolectar con relativa facilidad.

### *Desventajas*

- Excesivo uso de energía eléctrica, ya que se necesita energía eléctrica para el fresado de la placa, mucha más energía que con los métodos anteriores, 450 W de consumo (*LPKF ProtoMat E33*).
- Largos periodos de proceso, un circuito sencillo puede llevar horas el ser elaborado.  
Alto costo por mantenimiento del mecanismo, además es necesario una continua sustitución de fresas, que también influye en el costo de mantenimiento. (Kalpakjian, 2006)
- El proceso de fresado no se utiliza en superficies desiguales, tal como son las superficies de las placas de cobre para PCB's, ya que se sobre exige a la máquina y se puede destruir la herramienta de fresado. (Kalpakjian, 2006)
- Baja calidad de las pistas (ver Figura 2); Las pistas de cobre son un tanto irregulares, y no se pueden hacer pistas muy delgadas porque se pueden desprender del sustrato.
- Pistas anchas aportan ruido al circuito.



**Figura 2: Irregularidades en una PCB hecha con Fresa CNC.**

### **1.1.1.5 Grabado láser.**

#### *Descripción*

En este tipo de grabado se utiliza un láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, o Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación). El láser concentra energía luminosa sobre la superficie, con lo cual funde y evapora el material no deseado en forma controlada.

#### *Ventajas*

- Rápida acción.
- Exactitud, reproducibilidad.

#### *Desventajas*

- Tecnología muy costosa (la máquina más sencilla de la línea LPKF *lpkf-ProtoLaser S* cuesta \$150000 dólares). (Leggett, 2014)
- Mantenimiento costoso.
- Emana gases nocivos: humos metálicos, ozono y vapores de descomposición de los recubrimientos del sustrato. (Herrero, 2011)
- Irradiaciones de laser pueden dañar la retina del ojo, si no se toma las debidas precauciones. (Media, 2014)

### **1.1.2 Análisis técnicas de grabado.**

Una tecnología de grabado apta para ser usada debe tener las siguientes características:

- Económica, al alcance de toda la sociedad.
- Amigable con el medio ambiente, no debe producir desechos tóxicos ni desperdicios no reciclables.
- Eficiencia Energética, ya que esto influye en el costo de producción y en el cuidado del medio ambiente.

De esta manera solo se va a contar con dos métodos de grabado: **Electroquímico** (Soluciones de sales) **y el Electrolítico**(o Anódico).

### 1.1.3 Planteamiento del problema.

Dentro de estos dos métodos de grabado (Electroquímico y Electrolítico), la parte más complicada es el estampe de las pistas sobre la placa de cobre virgen. Esto comúnmente se lo realiza: en forma manual con marcador indeleble, o por termotransferencia.

- Manualmente con marcador indeleble: la calidad del trazo depende del tipo de marcador, implementos de dibujo y del pulso del proyectista.
- Termotransferencia: depende del tipo de impresora usada, calidad del papel termotransferible, fuente de calor para transferir el dibujo hacia la placa de cobre, habilidad del operario para separar el papel termotransferible de la placa de cobre.

Estos procedimientos para estampar las pistas sobre la placa de cobre dependen de varios factores (recurso humano, calidad de máquina-herramientas, materiales y operaciones).

Mediante el desarrollo del proyecto planteado se propone, simplificar y optimizar el **procedimiento de estampe** es decir: reducción de tiempo de gestión, eliminación del trabajo innecesario, reducción de materiales, reducción de errores, liberación del recurso humano.

## 1.2 Justificación e importancia

Tradicionalmente los ácidos cáusticos, como el nítrico, han figurado como el factor común del grabado en metal, con el que se ha acarreado un sinnúmero de problemas de salud, que se centran en patologías pulmonares y dérmicas, estos ácidos se han logrado erradicar gracias a la investigación y desarrollo de nuevos métodos tales como: grabado electrolítico, grabado electroquímico, grabado mecánico y el grabado láser.

Una tecnología de grabado apta para ser usada debe tener las siguientes características: económica, amigable con el medio ambiente y energéticamente eficiente. De esta manera solo se va a contar con dos caminos: grabado electrolítico y grabado electroquímico (como se encuentra expuesto en el punto 1.1.2 Análisis técnicas de grabado).

Un paso clave en la fabricación de circuitos impresos, mediante el método de grabado electrolítico y electroquímico; es el estampe de las pistas a generarse en la PCB, previo a la fase de grabado. Ya que la calidad de las pistas depende en gran manera de la condición del circuito estampado. Es importante construir una impresora para PCB, que permita imprimir directamente sobre la placa, con lo cual se conseguirá lo siguiente:

- Ahorro de tiempo, una impresión directa se puede hacer hasta 18 ppm en A4 (impresora Hp laserjet p1102w).
- Ahorro de materiales, ya no se utilizaría papel termotransferible, ni film fotosensible.
- Alta calidad de impresión de pista, hasta 1200 dpi (impresora Hp laserjet p1102w).
- Ahorro energético, tan solo consume 0,37 Kw mientras se encuentra activa (impresora Hp laserjet p1102w).
- Eliminación de operaciones innecesarias, tales como; el planchado del papel termotransferible, o el trazo manual de las pistas sobre la placa de cobre.

Sin embargo, es preciso aclarar que en el grabado, como en muchas otras técnicas, siempre hay sustancias que no son totalmente inocuas; pero, lo importante es mantener la mente abierta a la investigación y experimentación, para transformar los procesos insalubres en otros más seguros e incluso más efectivos o que puedan brindar nuevas maneras de producción, sin incurrir en riesgos innecesarios.

Así también se recomienda usar las técnicas de regeneración de lejías agotadas. (Frías, 2008)

En la actualidad no existen máquinas en Ecuador que permitan imprimir el trazo de las pistas directamente sobre la placa de cobre. Esta tecnología estará al alcance de toda la sociedad (principalmente docentes, estudiantes, técnicos e investigadores) para desarrollar PCB's, lo cual abre un sinnúmero de oportunidades tales como: investigación y desarrollo de nuevos diseños de circuitos impresos, y la posibilidad de adaptar esta tecnología a impresoras profesionales de mayor precisión, de altas frecuencias de trabajo y crear una producción de circuitos impresos a bajo costo y de buena calidad, respetando el medio ambiente.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General.**

- Diseñar y construir una impresora para placas de circuito (PCB) en base de las piezas y tecnología de una impresora comercial.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Identificar los componentes y mecanismos de la impresora base que pueden ser empleados en la impresora PCB.
- Diseñar una distribución de los componentes; para que la impresora PCB trabaje con placas de cobre.
- Seleccionar materiales mecánicamente aptos para la fabricación de elementos necesarios.
- Elegir sensores para el monitoreo de las placas de cobre durante el proceso de impresión.
- Realizar pruebas necesarias para calibrar y garantizar el correcto funcionamiento de la impresora para PCB.

## 1.4 Alcance

El proyecto consiste en diseñar y construir una impresora que permita estampar las pistas de un determinado circuito directamente sobre el material de la placa, teniendo como base las piezas, mecanismos y tecnología de una impresora comercial. El control que monitoreará la máquina será el mismo control con el cual cuenta la impresora base, que es un sistema de control en lazo abierto el cual verificará la presencia de placas de cobre para iniciar la impresión

### 1.4.1 Producto final.

#### 1.4.1.1 Hardware.

- Adecuación para las placas de cobre: Distribución adecuada de los rodillos de alimentación y arrastre para la admisión y transporte de las placas de cobre durante el proceso de impresión.
- Sensores: Selección de sensores que permitan comprobar; presencia de placas de cobre, atascos de placas de cobre y compuertas cerradas. Se utilizará el mismo sistema de control con el que cuenta la impresora (control en lazo abierto).
- Abastecimiento: Este subsistema se encuentra compuesto por la bandeja de entrada, la cual se va a diseñar y construir para que pueda admitir placas de cobre. La bandeja de entrada debe tener guías en el soporte de impresión, estas guías permiten que la PCB se introduzca correctamente en la impresora y que la impresión no quede inclinada (desviada con respecto al soporte de impresión)
- Entrega: Implementar una bandeja de salida que sirva de soporte, donde se situará la placa de cobre ya impresa, este soporte debe estar adecuado para la recepción de la PCB.

## 1.5 Impresora base: Breve descripción de alternativas

### 1.5.1 Impresora láser.

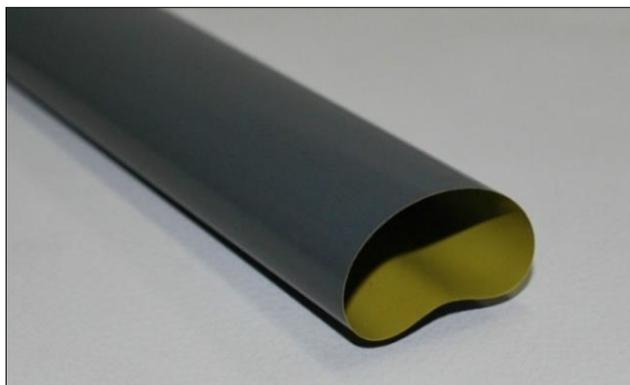
Una alternativa para el desarrollo de este proyecto es la utilización de una impresora láser, las características se detallan a continuación.

#### *Ventajas*

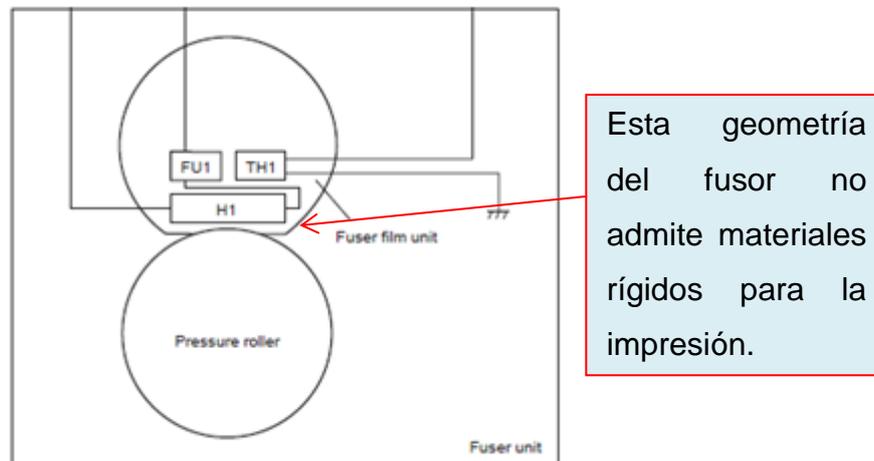
- Disponibilidad de impresoras y repuestos en el mercado.
- Resolución aceptable: Hasta 600 x 600 dpi (impresora Hp laserjet p1102w).
- Velocidad aceptable de impresión: Imprime 18 ppm en A4 (impresora Hp laserjet p1102w).
- Bajo precio de impresión: 0,7 centavos de dólar por cada impresión sin contar con el valor de la hoja de papel. (Sr. Chillán, técnico impresoras Notaria 33).
- Excelente fijación del tóner sobre superficies lisas y no absorbentes: El tóner es utilizado para imprimir sobre superficies de vinil y acetato, con muy buenos resultados.

#### *Desventajas*

- Morfología del fusor: La forma del fusor no admite materiales rígidos, como se puede observar en la Figura 3 y en la Figura 4.



**Figura 3: Morfología de un fusor**  
Fuente: (QuickShip, 2014)



Esta geometría del fusor no admite materiales rígidos para la impresión.

**Figura 4: Diagrama del fusor.**  
**Fuente: (Hewlett-Packard, 2010)**

- Baja capacidad del fusor: Ya que los metales son buenos conductores de calor. El fusor al emitir energía sobre la placa, toda la superficie de cobre se convierte en un disipador de calor y la energía se desvanece.
- No se puede aumentar la capacidad del fusor: Las partes de una impresora están diseñadas para trabajar a una temperatura máxima de 180 C. Si se supera este límite se pueden afectar los demás mecanismos. (Xerox, 2014)

### 1.5.2 Impresora a inyección de tinta.

Otra alternativa es la utilización de impresoras con mecanismo a inyección de tinta.

*Ventajas.*

- Equipo económico: Se puede conseguir máquinas desde \$69 (MercadoLibre, Precio impresoras a tinta, 2014)
- Disponibilidad de impresoras y repuestos en el mercado.
- Buena resolución: Hasta 5760 x 1440 dpi (Impresora Epson Stylus T50)
- Tiempo por impresión: Imprime 38 ppm (impresora Epson Stylus T50)

*Desventajas.*

- Baja adherencia de la tinta sobre superficies lisas.
- Secado muy lento en superficies no absorbentes (poco porosas).

**1.5.2.1 Impresoras termoeléctricas.**

La tecnología termoeléctrica es utilizada principalmente por impresoras HP (Hewlett-Packard) y Canon. El sistema es sencillo pues utiliza el calor para que el cabezal vaya expulsando gotas de tinta. El cabezal tiene una cámara la cual se rellena de tinta, cuando el calentador aumenta la temperatura, la tinta se expande generando burbujas de vapor y hace que salga una parte muy pequeña de su volumen al exterior por la boquilla. Estas gotas expulsadas tienen un volumen aproximado de 9 picolitros. (MYFPSCHOOL, 2013)

El tamaño de la gota es importante, entre más pequeña sea la gota, la resolución mejora. (INTEF, 2014) Uno de los problemas que tuvieron estas impresoras fue la baja calidad de impresión. Actualmente con la mejora tecnológica de los cartuchos se ha mejorado la calidad de impresión.

La tecnología térmica no utiliza tintas basadas en pigmentos para no atascar la boquilla de salida.

*Ventajas.*

- Son las impresoras más económicas del mercado.

*Desventajas.*

- No pueden utilizar tintas pigmentadas.
- No pueden utilizar tintas genéricas, o de sustitución.
- Solo funcionan con tintas de base acuosa.

### **1.5.2.2 Impresoras piezoeléctricas.**

Este tipo de tecnología es la utilizada por las impresoras Epson. Los materiales piezoeléctricos pueden generar movimiento cuando se le aplica una carga eléctrica. Por lo tanto cuando se necesita expulsar una gota de tinta se le aplica una corriente al elemento piezoeléctrico y este presiona la cámara. Esta presión sobre la cámara hace que salga la gota de tinta. (MYFPSCHOOL, 2013)

Esta tecnología puede utilizar tintas basadas en pigmentos, las cuales son resistentes a la humedad y generan impresiones de mayor calidad que las obtenidas con tintas con colorantes.

#### *Ventajas.*

- Admite tintas con pigmentos.
- Acepta tintas genéricas o de sustitución.
- Se pueden utilizar tintas con bases no acuosas, como: alcoholes, cetonas, hidrocarburos.
- Mayor calidad de impresión: Valor óptimo de resolución en impresoras Epson tecnología piezoeléctrica es de 360dpi, la resolución en impresoras Canon y Hp tecnología termoeléctrica es menor, 300dpi. (Multimagen, 2015)

#### *Desventajas.*

- Costo de equipo: un poco superior, respecto a las impresoras termoeléctricas.

## **1.6 Análisis de alternativas y selección de la impresora base.**

### *Impresora Láser.*

Por el comportamiento y resistencia que presenta el tóner ante el ataque químico del cloruro férrico, la tecnología de impresión a laser, sería una gran opción. Pero las impresoras láser muestran ciertos aspectos que no se pueden superar, tales como: el fusor no admite materiales rígidos, y tampoco

se puede aumentar la capacidad térmica del fusor porque esto afectaría a las demás piezas de la impresora. Estas condiciones hacen que la impresora láser quede descartada.

#### *Impresora Inyección a Tinta.*

La tecnología de inyección a tinta, posee una desventaja; Falta de adherencia en superficies lisas y un secado muy lento en superficies no porosas. Por suerte hoy en día se están desarrollando nuevas tintas con propiedades superiores.

Actualmente en el mercado se pueden encontrar dos técnicas para impresión a tinta: Termoeléctrica y Piezoeléctrica.

#### *Impresora Termoeléctrica.*

Impresoras termoeléctricas son las impresoras más económicas del mercado, pero no admiten tintas genéricas, y la única tinta con la que funcionan es la tina colorada de base acuosa. La tinta en base acuosa no seca sobre superficies lisas, y no es resistente al agua. Estas características no son compatibles con el proyecto.

#### *Impresoras Piezoeléctricas.*

Estas impresoras admiten una gama más amplia de tintas (Tintas solvente, tinta eco-solvente, tinta de curado led UV). Lo plotters funcionan con cabezales piezoeléctricos.

### **1.6.1 Selección impresora base.**

#### **1.6.1.1 Resolución.**

Dentro de las impresoras hogareñas a tinta, las impresoras fotográficas tienen la mejor resolución de impresión.

### **1.6.1.2 Tecnología de impresión.**

Hay dos tecnologías de impresión: Termoeléctrica y Piezoeléctrica. La calidad es ligeramente mejor en las piezoeléctricas porque el tamaño de la gota es regulado con mayor precisión. A simple vista esta diferencia es casi imperceptible, pero de gran importancia para el proyecto.

### **1.6.1.3 Costo de consumibles.**

El consumible a utilizarse es la tinta, por lo tanto se cuenta con: Sistemas de cartucho y Sistemas de tinta continua. El de tinta continua es más económico. Ya que puede utilizar tinta de sustitución que es más asequible.

### **1.6.1.4 Disponibilidad de repuestos.**

Debido a la globalización actual este ítem no es determinante, ya que sería “relativamente” fácil importar los repuestos. Pero si hay que acotar lo siguiente; tanto Epson como canon son las marcas de impresoras a tinta que tienen mayor stock de repuestos en el país. Hp les sigue muy de cerca.

### **1.6.1.5 Capacidad para admitir diferentes tipos de tintas.**

Dentro de la tecnología de impresión a tinta: Termoeléctrica y Piezoeléctrica. La tecnología piezoeléctrica permite imprimir con tintas de remplazo (genéricas), es decir tintas no manufacturadas por el fabricante de la impresora. Esto abre la oportunidad de experimentar con varias tintas (no olvidar que las tintas de remplazo deben tener características similares a las tintas de marca).

### **1.6.1.6 Costo de la máquina.**

El costo de cada impresora varía directamente proporcional a la gama que pertenezcan (alta, media o baja).

**Gama** hace referencia a:

- Grado de desarrollo tecnológico.

- Funciones que tiene cada impresora (impresión simple, impresión doble lado, copiadora, escáner, funciones para impresión fotográfica, etc.)
- Vida útil (cantidad de impresiones que soportaría la impresora)
- Velocidad de funcionamiento.

Siguiendo los parámetros de la sección 1.6.1 Selección, se procede a construir la matriz de decisión con impresoras comerciales de las marcas líderes de impresión a inyección de tinta, en Ecuador.

**Tabla 1**

**Selección de impresora base, matriz de decisión**

GUÍA DE EVALUACIÓN						
0 NADA	1 A 2 INSUFICIENTE	3 A 4 POCO				
5 A 6 NORMAL	7 A 8 NOTABLE	9 A 10 SOBRESALIENTE				
CRITERIOS						
	Menor precio	Mayor resolución (dpi)	Disponibilidad de repuestos	Sistema Piezoeléctrico	Compatibilidad con sistema continuo de tinta	
OPCIONES	Epson L800	0	8	5	6	8
	Epson T50	5	8	5	6	10
	Epson L355	1	8	5	6	8
	Epson L210	2	8	5	6	8
	Canon Ip2810	10	4	5	0	6
	Canon Mg 3510	4	6	5	0	8
	Canon Mg 2410	9	4	5	0	8
	Hp deskjet 1515	8	8	5	0	6
	Hp deskjet 3545	5	8	5	0	5
<b>Mejor opción: EPSON T50 34 puntos de 50</b>						

Empleando los argumentos expuestos en el presente tema. Se eligió la impresora Epson Stylus Photo T50, máquina que unifica los criterios de selección.

*Tiene sistema de impresión piezoeléctrico.*

- Ayudará a una mejor presión de tamaño de gota.
- Permite usar tintas genéricas.

*Tiene cabezal de impresión DX5*

- Cabezal que usan los plotters, puede aceptar tintas de base no acuosa.

*Se le puede adaptar sistema de tinta continua.*

- Presentará una impresión más económica.
- Esto también ayudará a cambiar de manera más fácil el tipo de tinta que se esté usando.

*Es una impresora fotográfica.*

- Entrega impresiones de alta resolución.

*Stock de repuestos.*

- En el Ecuador se puede encontrar repuestos de la marca Epson.

*Es un equipo asequible.*

- Dentro de las impresoras fotográficas con estas características es la máquina más económica.

## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

En el presente capítulo se describen brevemente los mecanismos que se retiran de la impresora base, las modificaciones de los elementos que se mantienen y las nuevas piezas que se crearán para la impresora PCB.

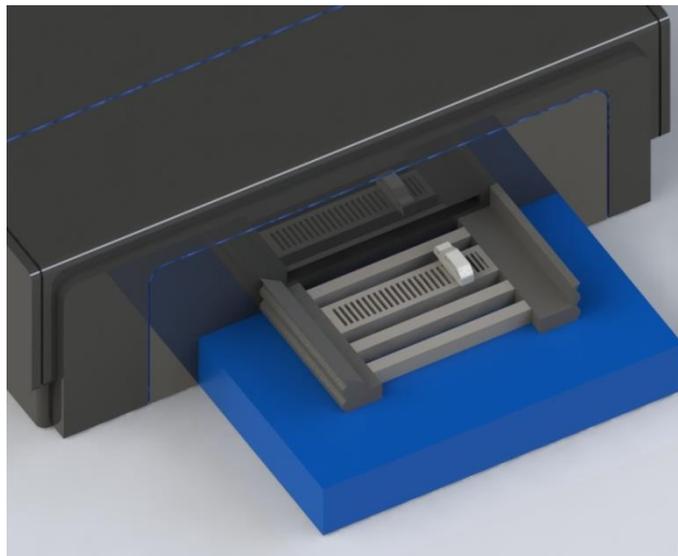
#### **2.1 Etapa de suministro**

Función: En esta etapa los mecanismos se encargan de suministrar las placas PCB a ser impresas.

En la etapa de suministro se crean nuevos elementos como: el soporte de alimentación, la bandeja porta PCB, y se modifica el receptáculo de admisión para que pueda aceptar las placas de cobre.

##### **2.1.1 Soporte de alimentación**

Función: El soporte de alimentación es el componente donde se asienta la bandeja porta placa, para que la impresora tome dicho suministro e inicie la impresión.



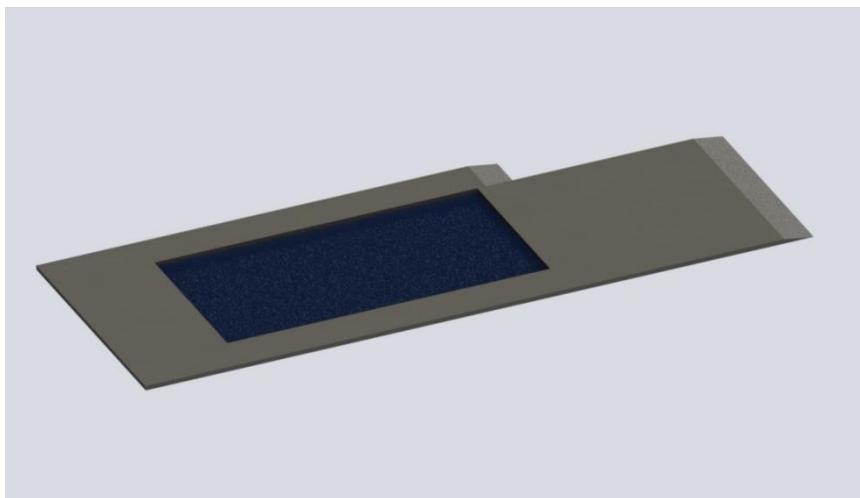
**Figura 5: Proyección gráfica de una posible solución para el soporte de alimentación.**

### *Características*

- La superficie donde se asienta el porta PCB debe encontrarse a una altura de 47mm del piso (o superficie base).
- El largo del soporte debe medir entre 213mm y 446mm, que son los tamaños de la entrada de papel y del largo de la impresora respectivamente.
- Este componente se sitúa en la parte inferior trasera de la impresora.
- Debe tener un mecanismo que permita ajustar el tamaño de la bandeja porta placa, el cual tendrá guías que dirijan un correcto avance de la bandeja porta PCB.

#### **2.1.2 Bandeja porta placa**

Función: Elemento que permite el transporte de la placa durante su proceso de impresión. Se asienta sobre el soporte de alimentación, y lleva en sí a la placa PCB.



**Figura 6: Proyección grafica de una posible solución para la bandeja porta placa.**

### *Características*

- El alto de la bandeja debe ser mayor o al menos igual al de la placa.
- El lado izquierdo la bandeja (como se puede ver en la figura 6) tiene una ceja de 25mm por 9mm para simular el ingreso de una hoja normal.

- El lado de ingreso debe tener un bisel de 2mm por 14mm para que los rodillos puedan arrastrar la bandeja.
- El tamaño de la superficie de la bandeja es de acuerdo al tamaño de la placa que se quiera imprimir.
- La bandeja debe ser plana y de superficie regular.

### 2.1.3 Modificación del receptáculo de admisión.

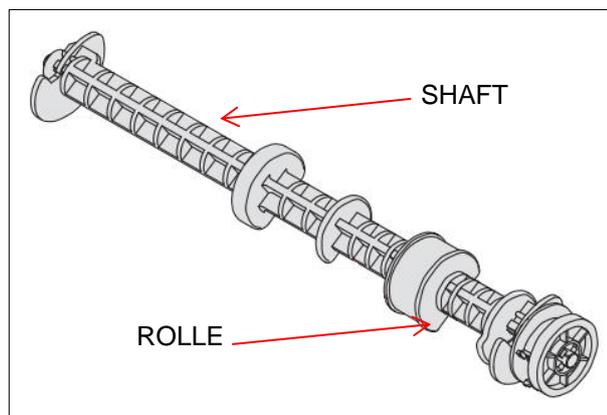
Función: La modificación es para asegurar la admisión de placas de circuito impreso, por la parte posterior de la impresora.

Las placas PCB son elementos planos de material rígido que no se flexionan como una hoja de papel. Por lo tanto se deberá hacer reformas en componentes como: la carcasa de la máquina, bandeja de entrada y elementos asociados.

La modificación consiste en retirar ciertos elementos (que impiden la impresión de las placas) y reformar la geometría de otros.

#### 2.1.3.1 Elementos que se retiran por impedir la impresión

- Feed roller que es el rodillo de alimentación y está compuesto por:
  - 710 Roller, que es el rodillo de hule.
  - 730 SHAFT ROLLER, que es el eje del rodillo. (Epson, 2011)

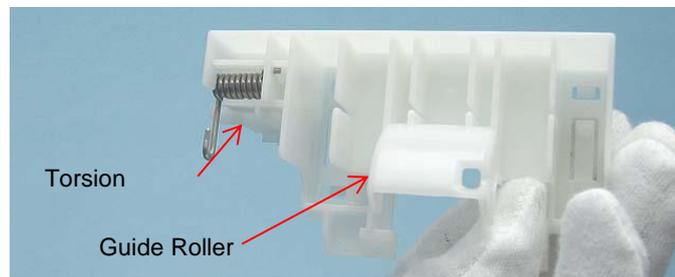


**Figura 7: Feed roller, Epson Stylus Photo t50.  
Fuente: (Epson Company, 2009).**

El feed roller es excluido de la máquina, ya que en su geometría contiene perfiles que no permiten el ingreso de la placa.

### **2.1.3.2 Elementos que se retiran por no cumplir ninguna función**

- 708 GUIDE ROLLER que es la guía del rodillo de alimentación.
- 709 TORSION SPRING, que es el resorte de torsión ubicado entre el GUIDE ROLLER y el SHAFT ROLLER. (Epson, 2011)



**Figura 8: Torsion Spring y Guide Roller, Epson Stylus Photo t50.**

**Fuente: (Epson Company, 2009)**

Si la máquina no tiene el feed roller, entonces ya no cumplen ningún servicio el guide roller (que se encarga de guiar al feed roller). El torsión spring, que se encarga de unir al guide roller y al feed roller también ha perdido su función, por lo tanto ambos solo estarían ocupando espacio y entorpeciendo la operación de estampe, ambos serán extraídos de la máquina.

### **2.1.3.3 Elementos que se modifican**

- Carcasa

El suministro se proporciona por la parte posterior de la máquina, donde la carcasa es completamente cerrada, por lo cual es necesario abrir una rendija en la región que a continuación se puede ver en color rojo en la Figura 9, para que la placa pueda ingresar con esta nueva configuración.



**Figura 9: Fotografía de la parte superior y posterior de impresora Epson Stylus Photo t50.**

Así mismo se colocará una rejilla a la altura de la base del agujero, esta rejilla conformará la parte inferior del habitáculo de admisión.

- 707 ASF ASSY (Auto Sheet Feeder Assembly), que es el conjunto de auto alimentación. (Epson, 2011)



**Figura 10: ASF ASSY (Auto Sheet Feeder Assembly), Epson Stylus Photo t50.**

**Fuente: (Epson Company, 2009)**

El conjunto de auto alimentación (por sus siglas en inglés: ASF ASSY) ya no tendrá la misma función (alimentar al sistema). El soporte de alimentación será el encargado de proporcionar el material imprimible.

La base inferior del componente “ASF ASSY” será reformada y constituirá la parte superior del habitáculo de admisión.

## 2.2 Transporte

Función: Transporta la placa a través de las diferentes etapas de la impresión.

Para tener un transporte adecuado de la placa durante el proceso de impresión se modificará la altura promedio del cabezal de impresión, para lo cual se crearán nuevos soportes del eje que guía el cabezal de impresión.



**Figura 11: Soportes originales del eje que guía el cabezal de impresión.**

### *Características*

- Las nuevas piezas tendrán la misma geometría, ya que cumplirán con la misma función.
- Se aumenta la altura del segmento en contacto con el eje del cabezal de impresión. Dicho aumento será de acuerdo a la altura que alcance la placa en la bandeja porta PCB.

- Dichos soportes estan en contacto con la leva del eje del cabezal, por lo tanto deben ser hechos de un material no muy duro (que no degaste la leva del eje) y que al mismo tiempo sea resistente a la carga que ejerce el peso del eje sobre los soportes.

### **2.3 Etapa de transferencia de la información**

Función: Una vez codificada la imagen que se pretende imprimir, la información es trasladada hacia el material imprimible por medio de la acción del cabezal y los cartuchos.

En esta etapa se cambia: el tipo de tinta, los cartuchos (por dampers), los reservorios, la manguera que conduce la tinta y el depósito de tinta de desecho.

- Tinta

Actualmente la impresora funciona con tinta Hi-definition, tinta original. Dicha tinta es de base acuosa, por lo tanto no resiste el agua, y mucho menos el ataque químico. Por ende se ha propuesto cambiar por tinta ultravioleta led, que tiene las siguientes características:

- Buena adherencia, no necesita de sustratos porosos para fijarse en su superficie, por lo tanto se puede imprimir en medios como: cerámica, cuero, madera, vidrio y acrílico. (Carnaghi, 2011)
- Excelente duración y resistencia al agua.
- Debido a que la tinta UV es curada en vez de secada, la preocupación por el posible secado de los cabezales disminuye significativamente, por lo tanto los inyectores se obturan menos. (Carnaghi, 2011)

- Cartuchos

Se sustituyen los cartuchos normales por dampers de sistema continuo para cabezal Epson DX5 (cabezal con el que cuenta la Epson T50). Estos dampers son diseñados para resistir tinta solvente y cumple la misma función de los cartuchos. Por medio de un tapón en la parte superior de este cartucho es posible volver a llenar con tinta una vez que este vacío.



**Figura 12: Cartucho tipo damper para cabezal Epson DX5 tinta solvente.**

- Reservorios y mangueras

Se estudiará la necesidad de añadir reservorios adicionales con sus respectivas mangueras para conducir la tinta hasta los dampers.

- Depósito tinta de desecho

La bandeja de almohadillas para tinta de desecho será retirada, y se ubicará un envase externo resistente al solvente, para que acumule los residuos de tinta.

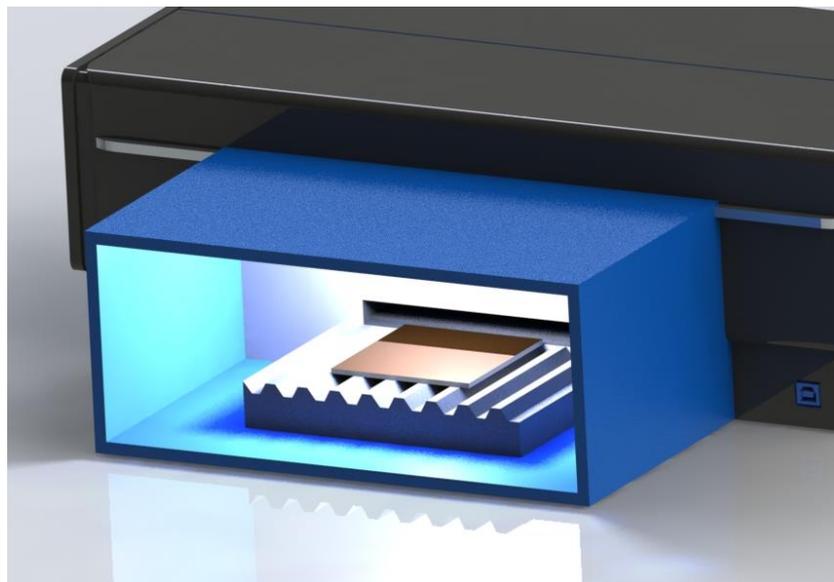
## 2.4 Etapa de curado/ Etapa de recepción del producto terminado

Función: Efectúa el proceso de curado (Inmediatamente después de la impresión), donde la placa será iluminada por un panel de luces led ultravioleta (UV). La luz UV polimerizará la tinta, permitiendo que la misma quede lista para el ataque químico.

La etapa de curado se realiza en el módulo de recepción del producto terminado. El cual es un cofre cerrado, que dentro de sí contiene la luz ultravioleta led, y el soporte donde descansará la placa ya terminada.

### *Características*

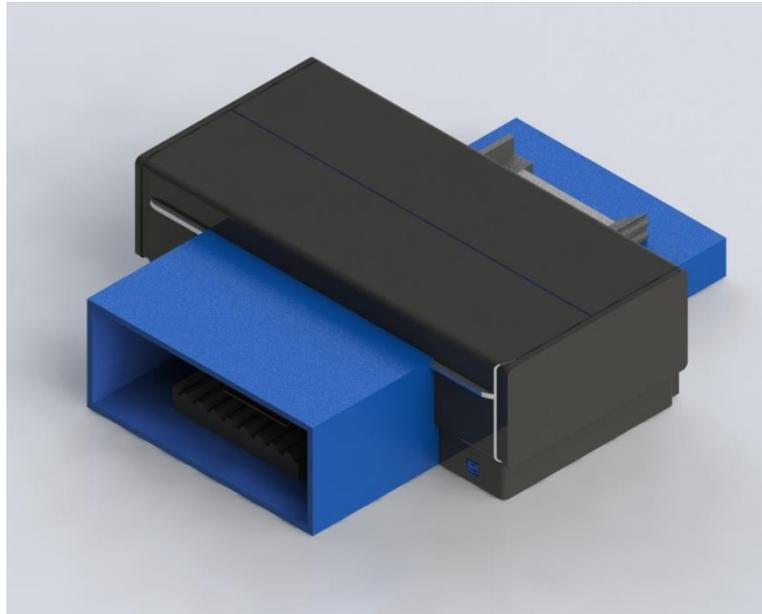
- El tamaño del cofre será el mismo que tiene la cubierta del soporte apilador, en alto y ancho (295 mm por 14 mm).
- El largo será el suficiente para almacenar dentro de sí una bandeja máximo de tamaño A4.
- Dentro de este módulo existirá un soporte donde descansa la placa PCB, mientras la luz led UV actúa.



**Figura 13: Proyección gráfica de una posible solución para la etapa de curado.**

Al terminar esta etapa el estampe de la PCB habrá concluido.

La máquina con todas las modificaciones tendrá el siguiente aspecto, ver Figura 14.



**Figura 14: Proyección grafica de una posible configuración física de la Impresora PCB.**

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO MECATRÓNICO**

En el presente capítulo se detallan las especificaciones técnicas de funcionamiento y construcción de cada una de las etapas que van a ser intervenidas. Las modificaciones se centraran en las etapas de alimentación, etapa de transporte, etapa de transferencia de la información-fijación y etapa de recepción del producto terminado.

Partiendo de los requerimientos presentados en el Capítulo 2 Descripción del sistema, se procede a especificar las modificaciones necesarias, y también se especifica el diseño de los nuevos elementos para la impresora PCB.

Para una mejor comprensión del funcionamiento, se describe de manera pormenorizada el sistema de control que gobierna a la impresora PCB, con sus respectivos sensores y actuadores.

### **3.1 Diseño Mecánico**

#### **3.1.1 Modificación de elementos que necesitan reformarse.**

##### **3.1.1.1 Auto Sheet Feeder Assembly (ASF-ASSY).**

###### *Modificación Mecánica*

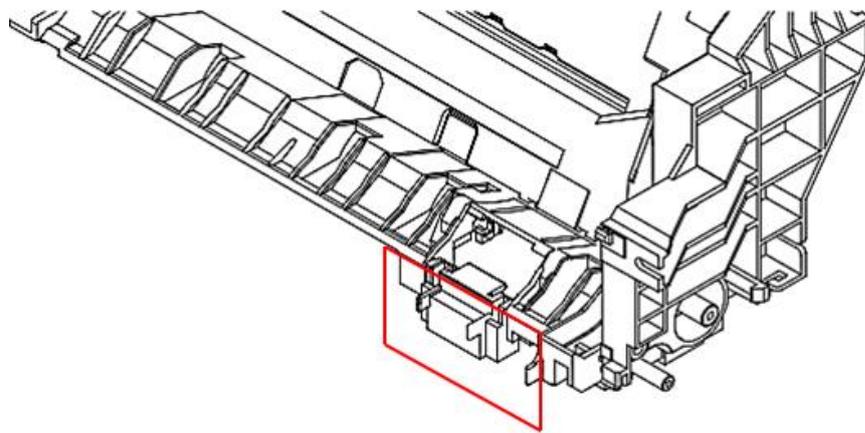
El conjunto ASF-ASSY tiene una geometría que impide el paso de cualquier material rígido, por lo cual es imprescindible modificar este elemento, para que las placas de circuito impreso puedan ser ingresadas por debajo de la base del conjunto ASF-ASSY.

Para imprimir una placa de circuito impreso es necesario crear un espacio mínimo de 2,1 mm (espesor total de la bandeja porta placa y la PCB), por debajo de la base del conjunto ASF-ASSY. Para lo cual en la

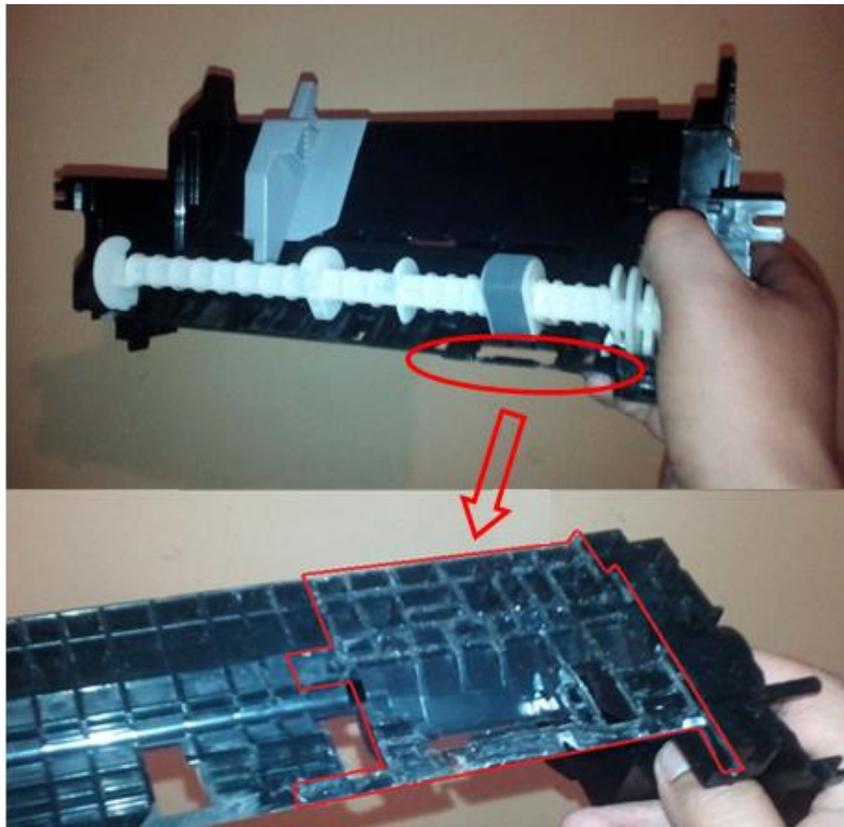
Figura 15 se muestra en rojo la porción de la base del conjunto ASF-ASSY que se debe cortar.

Una vez efectuada la operación de corte, se consigue un espacio de 5.5mm debajo de la base del conjunto ASF-ASSY.

En la Figura 16 se observa en rojo el área de corte y el nuevo aspecto del conjunto ASF-ASSY.



**Figura 15: Diagrama área sujeta a modificación Auto Sheet Feeder Assembly, Epson Stylus Photo T50.  
Fuente: (Epson Company, 2009)**



**Figura 16: ASF ASSY, Epson Stylus Photo t50: Nuevo aspecto y área de corte**

En la Figura 16 también se puede observar un relieve con forma de cuadrícula en la base del conjunto ASF-ASSY, es necesario eliminar estas irregularidades para evitar el atascamiento de la bandeja porta placa. Dichos pliegues irregulares se eliminan con el uso de Vinilo Autoadhesivo Scotchcal, vinilo sintético de larga duración, que ofrece protección a la humedad. (3M Company, 2011)

El Vinilo Autoadhesivo Scotchcal cubre la cuadrícula dando como resultado una superficie lisa y regular, como se puede observar en la Figura 17.

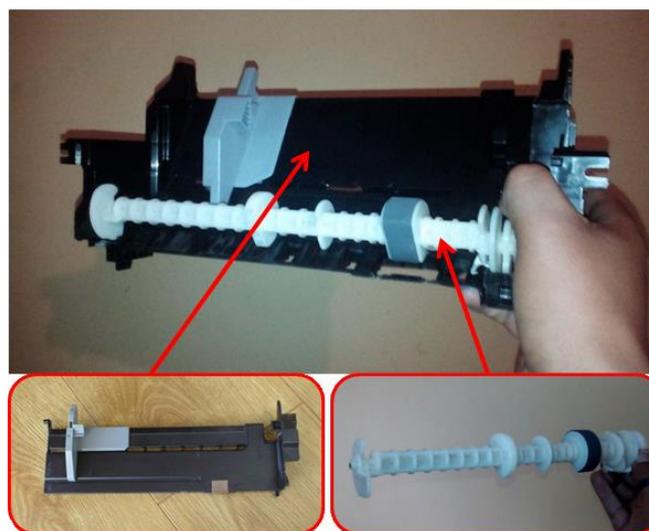


**Figura 17: Epson Base del ASF ASSY con vinilo autoadhesivo Scotchcal.**

#### *Partes Retiradas*

Una vez realizadas las reformas mecánicas se procede a retirar los elementos innecesarios para el nuevo proceso de impresión.

El conjunto ASF-ASSY ya no se encarga de suministrar el material imprimible, su función ha cambiado, ahora es la parte superior del habitáculo de recepción. Como se explicó en los puntos 2.1.3.1 y 2.1.3.2, se procede a retirar el borde guía deslizador y el SHAFT ROLLER.



**Figura 18: Partes retiradas del ASF ASSY, Epson Stylus Photo t50**

Una vez concluidas todas las modificaciones, el conjunto ASF-ASSY presentará el siguiente aspecto.



**Figura 19: Nuevo aspecto del conjunto ASF ASSY**

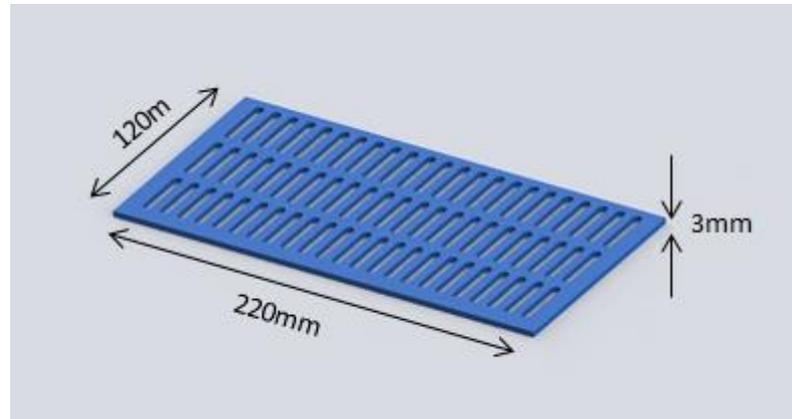
### **3.1.1.2 Conformación del habitáculo de admisión.**

Como se explicó en la sección 3.1.1.1 la base del conjunto ASF-ASSY ahora es la parte superior del habitáculo de recepción. Para conformar la parte inferior del habitáculo se usa una rejilla base, la cual se alinea con la plataforma del conjunto guía de papel frontal por su nombre en inglés: PAPER GUIDE FRONT ASSY (Epson, 2011). Esto es a una altura de 47mm medidos desde la superficie donde se asienta la impresora.



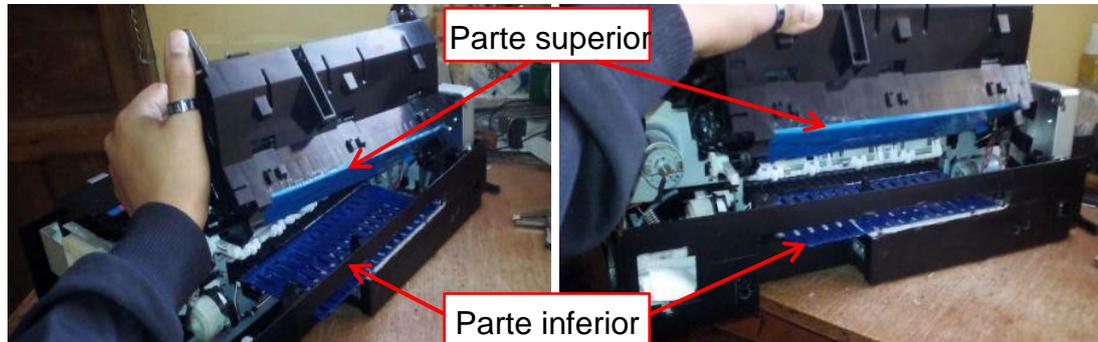
**Figura 20: Ubicación de la rejilla base.**

La rejilla tiene las siguientes medidas:



**Figura 21: Medidas rejilla base habitáculo de recepción.**

Una vez cortada la rejilla base se fija en la impresora con silicona acética *SIKA*, que tiene buena adhesión sobre superficies lisas de plástico.



**Figura 22: Habitáculo de recepción parte superior e inferior.**

### **3.1.1.3 Carcasa.**

Es imprescindible modificar la carcasa para que la máquina se alimente por la parte posterior (diagrama de la rendija en la carcasa ver la Figura 23).

#### *Ancho de la rendija*

Ancho de hoja máximo que admite la impresora original es Letter/Legal (215,9 mm). Para aceptar el ancho de 215.9mm, el borde guía deslizador por

donde se alimentaba originalmente la impresora tiene una amplitud de 225mm.

Para que la impresora admita el ancho máximo, la rendija debe tener la misma amplitud del borde guía, es decir 225 mm de largo.

#### *Alto de la rendija*

Para este cálculo se deben tener en cuenta las siguientes dimensiones: Grosor de bandeja porta placa, grosor de la rejilla base, más un espacio de holgura.

Para que la bandeja porta placa entre cómodamente se tratará de crear un espacio de holgura lo más grande posible, sin comprometer elementos estructurales de la carcasa.

Dónde:

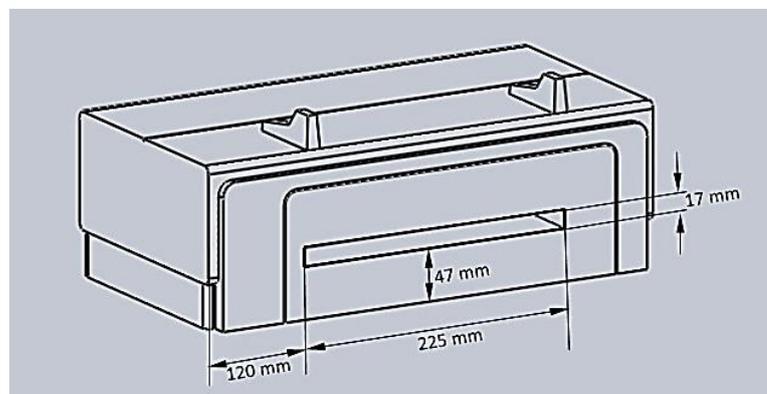
*Grosor bandeja porta placa = 2,1mm.*

*Grosor de rejilla = 3mm.*

*Espacio de holgura = 12mm.*

Por lo tanto:

*Alto de la rendija = 17,1mm.*



**Figura 23: Diagrama ASF ASSY, Epson Stylus Photo t50: Nuevo aspecto y área de corte**

En conclusión la rendija debe medir 225 mm de largo por 17,1 mm de alto.

### **3.1.2 Diseño elementos mecánicos.**

A continuación se explica brevemente las etapas del proceso de diseño.

Requisitos: Se debe considerar adecuadamente las cargas soportadas, y demás parámetros que se conocen de antemano. Ya que estos requerimientos ayudan a determinar las dimensiones globales y el material a utilizar en el diseño.

Diseño del elemento: Conviene tener en cuenta las etapas de diseño que se aplicarán de manera iterativa y sin orden específico, ya que cada caso de diseño es particular.

- **Diseño geométrico.**
- **Diseño estático y de fatiga.**
- **Selección de material.**

No existe una secuencia precisa de pasos para algún proceso de diseño. Por naturaleza el diseño es un proceso iterativo.

#### **3.1.2.1 Bandeja porta PCB.**

Para el diseño de la bandeja porta PCB se parte del concepto con el cual funciona una bandeja para impresión de CD.

*Requisitos:*

- Debe tener una superficie regular, esto evitará un posible atoramiento entre los rodillo de la impresora.

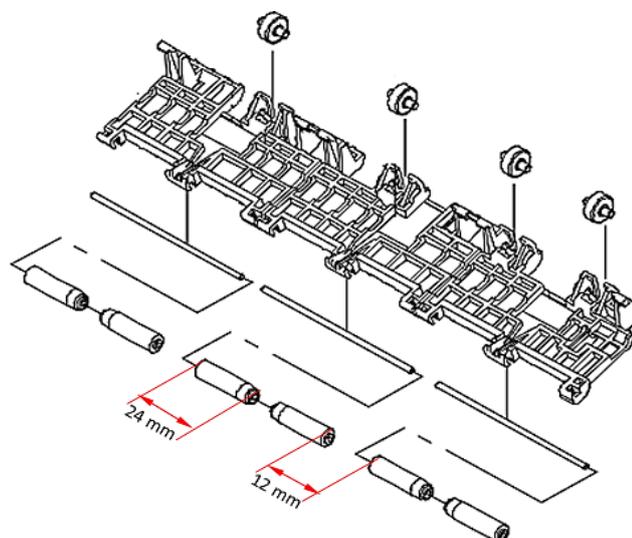
- El material no debe ser muy liso (con muy bajo coeficiente de rozamiento), para evitar falta de agarre y que la bandeja no pueda ser arrastrada.

### *Diseño geométrico*

Grueso: Los espesores de las PCBs que se encuentran en el mercado oscilan entre 0,7mm y 2mm (SMELEKTRONIK, 2013) Por ende la bandeja debe tener un grueso de 2mm En el punto 2.1.2 se especifica la razón.

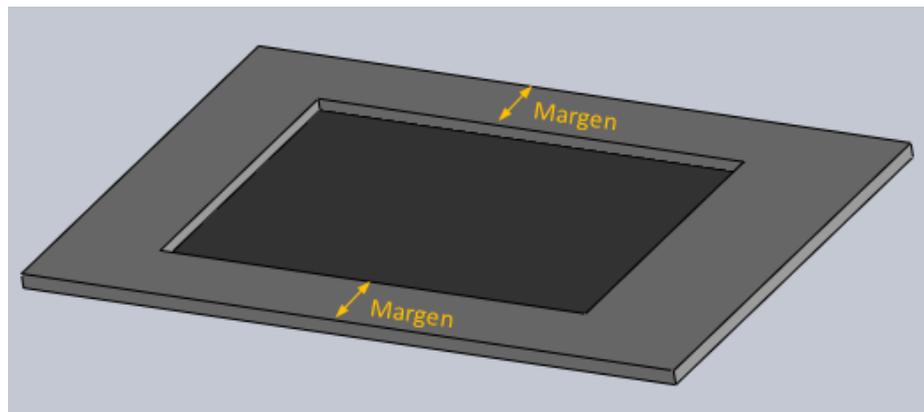
Ancho y largo: Es variable dependiente del tamaño de la placa y de los márgenes.

Márgenes: Para determinar los márgenes es necesario primero identificar la geometría del rodillo de presión. El rodillo de presión perteneciente al sistema *511-PAPER GUIDE UPPER ASSY* (Epson, 2011), es un rodillo de arrastre que permite el transporte del material imprimible, está conformado por segmentos cilíndricos de 24mm, separados 12mm entre sí. Por lo tanto los márgenes que rodean la placa deben tener un ancho mayor a 12mm para que los márgenes de la bandeja porta PCB no se queden atascados en la separación existente entre cada segmento cilíndrico.



**Figura 24: Diagrama PAPER GUIDE UPPER ASSY, Epson Stylus T50**  
Fuente: (Epson, 2011)

Con márgenes mayores a 12mm se asegura que la bandeja pueda ser transportada, y que no se quede trabada entre los rodillo del PAPER GUIDE UPPER ASSY.

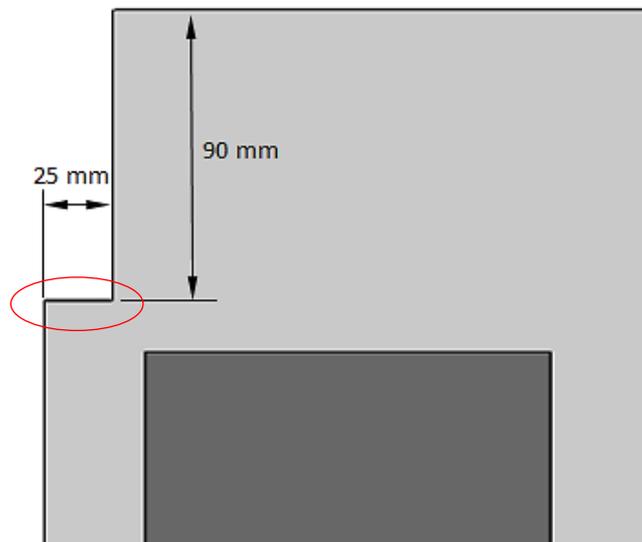


**Figura 25: Margen de bandeja porta placa**

Ceja: El lado izquierdo de la bandeja (como se puede ver en la Figura 23) tendrá una ceja de 25mm por 90mm para simular el ingreso del material imprimible, como si se estuviera alimentando la impresora desde el módulo ASF-ASSY con hojas de papel normal.

Originalmente la hoja se situaba en el mecanismo ASF-ASSY, una vez que se daba la orden de imprimir, el material imprimible avanzaba desde el conjunto ASF-ASSY hasta el sensor N°1 (ver Tabla 11 PE sensor), donde se verifica la existencia de hojas para iniciar la impresión. Para aparentar esta acción, se crea una ceja en el lado izquierdo de la bandeja. Donde 90mm es la distancia que avanza el borde superior de la hoja desde el conjunto el ASF-ASSY hasta el sensor N°1 y 25mm es la distancia entre el sensor N°1 y el borde izquierdo de la bandeja porta placa.

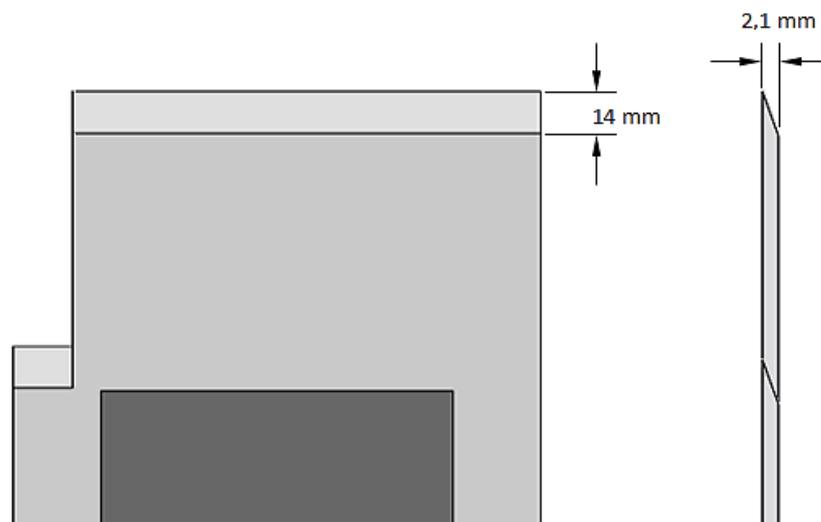
En la Figura 26 se puede apreciar las medidas y la forma de la ceja en la bandeja porta placa



**Figura 26: Diagrama: Medidas de ceja en bandeja porta placa**

Ahora la base de la ceja simulará el borde superior del material imprimible.

Bisel: El lado de ingreso deberá tener un bisel de 2,1mm por 14mm. Es la inclinación suficiente para que los rodillos arrastren la bandeja (la pendiente se determinó midiendo el chaflán existente en la bandeja para CD de la impresora Epson T50).



**Figura 27: Diagrama: bisel bandeja porta placa**

*Diseño estático.*

No es necesario, porque es un elemento de forma laminar que es transportado por los rodillos y no soporta fuerzas que afecten su estructura o su forma.

*Selección de material.*

La lámina de PVC (Policloruro de vinilo) es un material uniforme y su superficie no es tan lisa como la que presenta el policarbonato o el acrílico. Lastimosamente en Ecuador no se puede conseguir láminas de 1mm o 2mm de grosor para elaborar la placa porta PCB.

Otras alternativas son: cartón pluma y ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno). Principales materiales para crear la bandeja porta placa.

**3.1.2.2 Módulo soporte de alimentación.***Requisitos*

Elemento rígido que soporta cargas ínfimas, que funcionará como soporte del material imprimible.

*Diseño geométrico*

Altura: El porta PCB se traslada a una altura de 47mm medidos desde la superficie donde se asiente la impresora.

Por lo tanto la altura total que alcance el módulo de soporte, más el mecanismo de guías debe medir 47mm.

Para el mecanismo de guías se utiliza el SHEET FEEDER de la impresora canon BJC-2100. El cual mide 9,5 mm de alto.

Por lo tanto la altura del módulo para el soporte de alimentación será:

$$47mm - 9,5 mm = 37,5 mm$$

$$\text{Altura del módulo} = 37,5mm$$

Largo: El porta placa una vez situado sobre el soporte de alimentación penetrará dentro de la impresora un longitud de 145mm. El tamaño (largo) máximo que admite la impresora es 350mm (Longitud de una hoja tamaño legal).

Por lo tanto, el largo máximo admitido por la impresora será igual a la longitud que penetra la bandeja, más el largo del soporte.

Dónde:

$$350mm = 145mm + \text{largo del soporte}$$

$$\text{Largo del soporte} = 205 \text{ mm}$$

Ancho: El módulo de soporte de alimentación debe tener un ancho mayor al SHEET FEEDER de la impresora canon BJC-2100 que mide 250mm.

Para que el mecanismo de guías se asiente correctamente el sobre el soporte de alimentación. Se ocupará una tolerancia de +30 mm por cada lado.

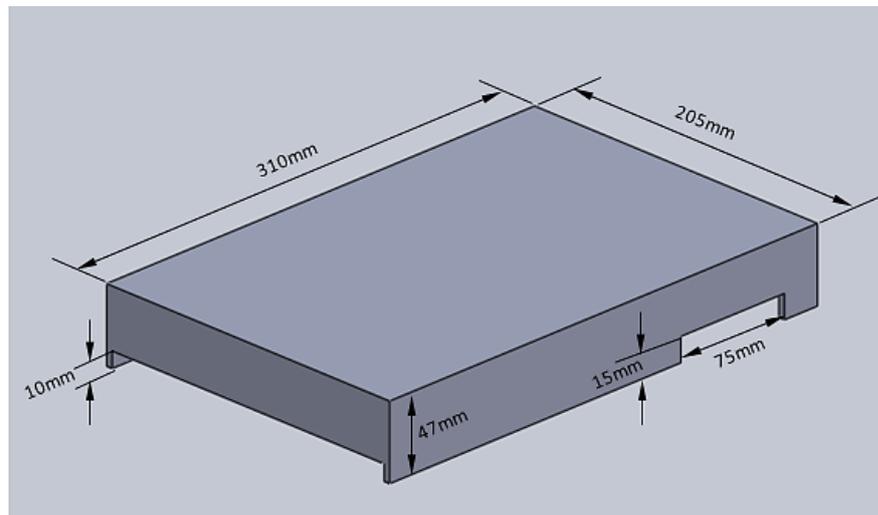
Entonces:

$$\text{Ancho} = 250 \text{ mm} + 30\text{mm} + 30\text{mm}$$

$$\text{Ancho} = 310\text{mm}$$

#### Geometría adicional

- El costado en contacto con la impresora tendrá un destajo de 15mm por 75mm en el lugar donde se encuentra la entrada del suministro de energía.
- En los laterales del módulo se creará un destajo de 10mm de alto, para dar cabida a los cables de comunicación y de alimentación eléctrica.



**Figura 28: Diagrama módulo soporte de alimentación**

### *Selección de material*

Las características del material a seleccionar son:

- Maquinabilidad, debe ser un material fácil de ser procesado, es decir, fácil de taladrar, cortar, esmerilar.
- No degradable, ya que es un componente permanente no descartable, debe resistir la degradación que sufren principalmente los materiales orgánicos.
- Rígido, que conserve su forma, aunque no necesariamente resista grandes cargas de fuerza.
- Ligero, para desmontar la impresora y transportarla cuando sea necesario.
- Fácil de adquirir, un material que se lo pueda conseguir en el mercado.
- Necesidad de acabados, que su superficie necesite pulido, pintado, etc.

**Tabla 2**

### **Selección del material para módulo de alimentación, matriz de decisión**

#### **GUÍA DE EVALUACIÓN**

0 NADA	1 A 2 INSUFICIENTE	3 A 4 POCO
5 A 6 NORMAL	7 A 8 NOTABLE	9 A 10
		SOBRESALIENTE
		CONTINUA 

		CRITERIOS						
		Menor precio	Mejor maquinabilidad	No biodegradable	Mejor rigidez	Más ligero	Fácil de adquirir	Baja necesidad de acabados
OPCIONES	Aluminio	3	5	5	9	8	7	5
	<b>Acrílico</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
	Vidrio	4	2	10	10	3	7	10
	Madera	9	9	0	4	5	9	1
	PVC	4	5	8	7	5	7	5
	PET	4	5	6	7	6	4	7
	Fibra de vidrio	2	5	7	8	9	4	2
	Poliestireno	8	8	5	7	6	4	5
	MDF	10	9	0	4	5	9	1
	<b>Mejor opción: Acrílico</b>		<b>58 puntos de 70</b>					

Empleando estos argumentos, se elige una opción que unifique dichos criterios: **Acrílico**.

#### *Diseño estático y de fatiga.*

No es necesario, ya que el soporte no resiste cargas importantes, solo soporta el peso de bandeja porta placa 75 gr. y no realiza trabajo que produzca fatiga.

#### **3.1.2.3 Módulo de curado.**

##### *Requisitos*

Elemento permanente, no descartable. Cofre rígido no traslucido (opaco que no permita el paso de luz UV a través de sus paredes).

##### *Diseño geométrico*

Altura: El Módulo de curado debe evitar la propagación de rayos UV (porque afecta a la piel: arrugas, envejecimiento, irritación, incluso cáncer de piel por prolongada exposición; así como afecciones a nivel ocular), por este motivo el alto y ancho será el suficiente para que este módulo encaje en el

sitio donde se encuentra la cubierta apiladora de papel, de esta manera el lado del módulo en contacto con la impresora quedará completamente cubierto por la carcasa y así no exista fuga de rayos UV.

Por ende la altura total que alcance el módulo, será igual a la altura de la cubierta apiladora más la longitud desde la superficie donde descansa la impresora hasta la altura donde inicia la cubierta apiladora

Dónde:

$$\text{Altura total} = 123 \text{ mm} + 12 \text{ mm}$$

$$\text{Altura total} = 135 \text{ mm}$$

Ancho: El ancho será igual al ancho de la cubierta apiladora

$$\text{Ancho} = 296 \text{ mm}$$

Largo: El largo máximo del módulo de curado debe ser igual al tamaño máximo de material imprimible que admite la impresora, que es 350mm (largo de hoja tamaño legal)

Por lo tanto:

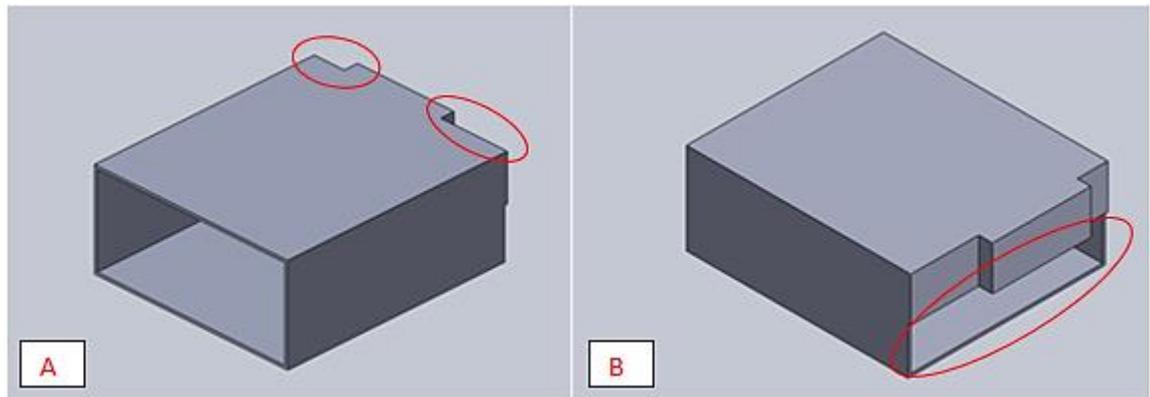
$$\text{Largo del soporte} = \text{longitud máxima del material imprimible}$$

$$\text{Largo del soporte} = 350 \text{ mm}$$

#### Geometría adicional

- El costado en contacto con la impresora tendrá dos muescas, una de 100mm por 20mm apegado al lado derecho, y una segunda de 51mm por 20mm en el sector izquierdo.
- Al iniciar el proceso de secado, es necesario que la placa ingrese al módulo de curado, para lo cual es necesario abrir una entrada en el

costado del módulo que encaja con la impresora. Las medidas de la entrada serán 70mm de alto por 296 de largo.



**Figura 29: Diagrama módulo de curado. A: destajos. B: entrada**

#### *Selección de material*

Las características del material a seleccionar deben ser:

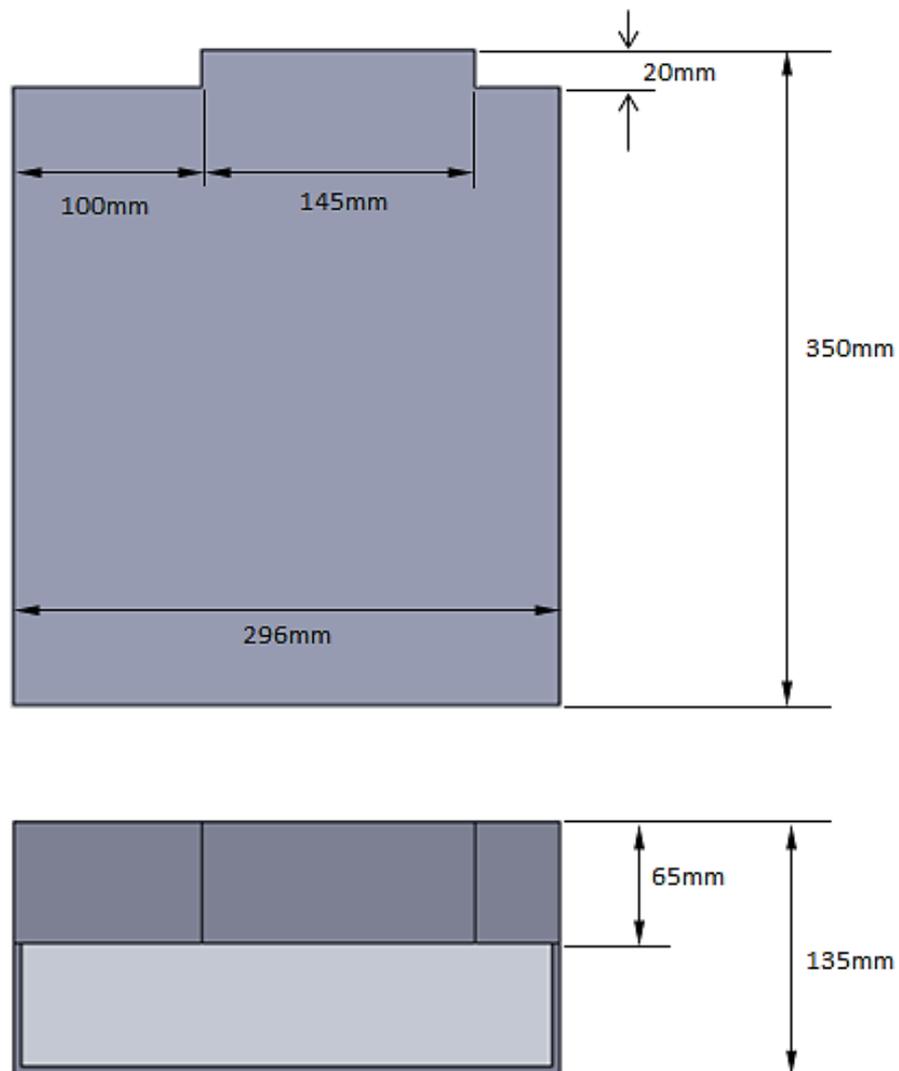
- Material opaco, que no permita que los rayos UV salgan al exterior.
- Maquinabilidad, debe ser un material fácil de ser procesado, es decir fácil de taladrar, cortar, esmerilar.
- No degradable, ya que es un componente permanente no descartable, debe resistir la degradación que sufren principalmente los materiales orgánicos.
- Rígido, que conserve su forma, aunque no necesariamente resista grandes cargas de fuerza.
- Fácil de adquirir, un material que se lo pueda conseguir fácilmente.
- Ligero, para desmontar la impresora y transportarla cuando sea necesario.

Tabla 3

## Selección del material para módulo de curado, matriz de decisión

GUÍA DE EVALUACIÓN								
0 NADA		1 A 2 INSUFICIENTE			3 A 4 POCO			
5 A 6 NORMAL		7 A 8 NOTABLE			9 A 10 SOBRESALIENTE			
CRITERIOS								
OPCIONES		Menor precio	Mejor maquinabilidad	No biodegradable	Mejor rigidez	Más ligero	Fácil de adquirir	Material opaco
	Aluminio	3	5	5	9	8	7	10
	Acrílico	5	8	10	9	7	9	3
	<b>Acrílico mate</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
	Madera	9	9	0	4	5	9	10
	PVC	4	5	8	7	5	7	10
	PET	4	5	6	7	6	4	4
	Fibra de vidrio	2	5	7	8	9	4	5
	Poliestireno	8	8	5	7	6	4	5
	MDF	10	9	0	4	5	9	10
<b>Mejor opción: Acrílico mate 57 puntos de 70</b>								

Al relacionar los criterios expuestos, se llega a elegir el material: **Acrílico mate**.



**Figura 30: Diagrama módulo de curado**

*Diseño estático y de fatiga.*

El soporte no resiste cargas importantes, solo soporta el peso de bandeja porta placa 75 gr. y no realiza trabajo que produzca fatiga.

**3.1.2.4 Soporte lateral derecho e izquierdo del eje que guía el cabezal.**

*Requisitos*

Tienen la misma geometría de los soportes originales, solo se aumentará la altura del segmento en contacto con el eje del cabezal de impresión. Dicho aumento será de 2.1mm que es la altura de la placa en la bandeja

porta PCB. Estos soportes resisten una carga de 26,69N (6 libras), que es la carga ejercida por el eje que guía el cabezal de impresión.

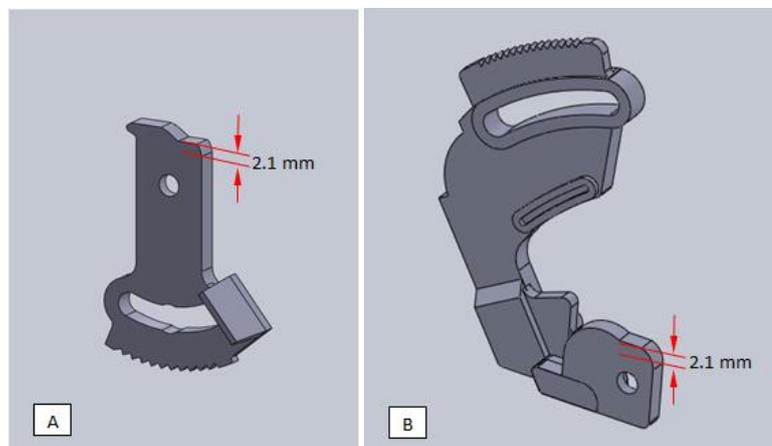
### *Diseño geométrico*

Con la ayuda de instrumentos de medida como: calibrador pie de rey, regla, escuadras, graduador, se procede a tomar las medidas de los elementos originales, para posteriormente en un software CAD (en este caso SolidWorks) crear el diseño geométrico en 3D de los soportes.



**Figura 31: Medición del soporte izquierdo con calibrador pie de rey**

Ya que es necesario aumentar la altura promedio del eje. En las zonas señaladas con rojo de la Figura 29 se ha adicionado 2.1 mm de altura. Teniendo como resultado el siguiente:



**Figura 32: Modelo soportes del eje del cabezal. A: derecho. B: izquierdo**

### *Selección de material*

Por la geometría complicada y el tamaño pequeño (menor de 40mm) que presentan los soportes la tecnología adecuada para su elaboración es la impresión 3D. Los servicios prestados por 3bean impresiones ofrece sus impresiones 3D en dos materiales:

- PLA: Poliacido láctico, es un material suave de apariencia brillante. Completamente biodegradable debido a que es producido a partir del almidón del maíz. (3-bean impresiones, 2015)
- ABS: Acrilonitrilo butadieno estireno, es uno de los mejores materiales para el modelado de piezas mecánicas o diseños que estarán sometidos a cargas. Gracias a su composición es capaz de resistir altas temperaturas y es muy resistente al impacto. El tiempo de vida de este material es bastante prolongado. (3-bean impresiones, 2015)

Teniendo en cuenta las características de los dos materiales se procede a seleccionar el material ABS Acrilonitrilo butadieno estireno, material óptimo para modelado de piezas mecánicas y no biodegradable.

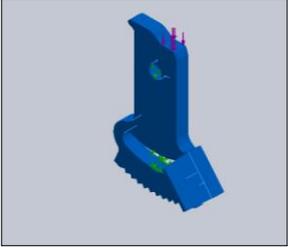
Una vez realizada la selección del material se procede a efectuar un estudio estático de las fuerzas que toleran los soportes.

### *Diseño estático y de fatiga.*

Los soportes sobrellevan una carga importante de 26,69N (6 libras), por ende es necesario crear un estudio que permita determinar la capacidad de los soportes para resistir dicha carga.

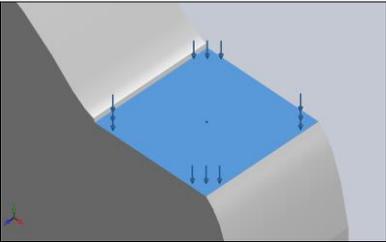
- Diseño estático soporte lateral izquierdo del eje que guía el cabezal.

**Tabla 4:**  
**Propiedades del material de soporte izquierdo**

Referencia de modelo	Propiedades	
	Material:	<b>ABS</b>
	Tipo de modelo:	<b>Isotrópico elástico lineal</b>
	Límite de tracción:	<b>3e+007 N/m<sup>2</sup></b>
	Módulo elástico:	<b>2e+009 N/m<sup>2</sup></b>
	Coef. de Poisson:	<b>0.394</b>
	Densidad:	<b>1020 kg/m<sup>3</sup></b>
	Módulo cortante:	<b>3.189e+008 N/m<sup>2</sup></b>

En la Tabla 4 se presenta el material y sus características antes de iniciar el estudio simulado por software de las cargas que tolera el nuevo soporte. El modelo es de tipo isotrópico, es decir un material que presenta microestructuras muy regulares, lo cual le permite mantener sus propiedades mecánicas idénticas en todas las direcciones. (SolidWorks, 2011)

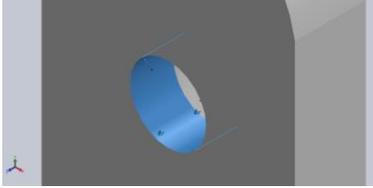
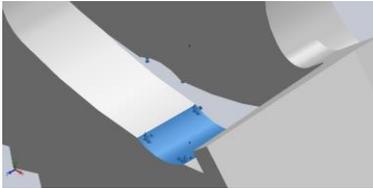
**Tabla 5**  
**Cargas que tolera el soporte izquierdo**

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p><b>Entidades:</b> 1 cara(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal</p> <p><b>Valor:</b> 6 lbf</p>

En la Tabla 5 se especifican las cargas y la superficie de aplicación de dichas cargas sobre el soporte izquierdo, siendo una fuerza normal de 6lbf, es decir 26,69 newtons.

Tabla 6

## Sujeciones del soporte izquierdo

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
1- Bisagra fija		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Bisagra fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-3.94312	22.7221	0.18351	25.4624
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0
2- Tornillo fijo		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Tornillo fijo		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	2.48093	3.44664	-0.231938	3.41009
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Con la fuerza de 26,69 newtons se procede a verificar las resultantes de esta fuerza aplicada sobre el nuevo soporte.

En la Tabla 6 se observan dos sujeciones, la primera sujeción es de tipo bisagra la cual es atravesada por un pasador que también sirve de guía, la segunda sujeción es de tipo tornillo y sirve para fijar el soporte en la

estructura que sostiene a la impresora. En el diseño original de los soportes, la carga ejercida por el eje que guía el cabezal es aguantada por la sujeción tipo bisagra. Para que el diseño del nuevo soporte sea válido la carga debe ser sostenida en la sujeción tipo bisagra, en la Tabla 5 se verifica que este requerimiento se cumple a cabalidad.

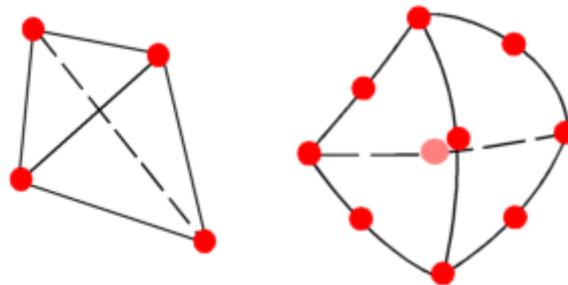
**Tabla 7:**

**Información de la malla para el análisis del soporte izquierdo**

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estandar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Calidad de malla</b>	Elementos tetraédricos parabólicos

La información que se muestra en la Tabla 7 indica los parámetros que rigen la malla de simulación.

Se define un elemento tetraédrico parabólico mediante cuatro nodos angulares, seis nodos centrales y seis aristas. La Figura 30 muestra dibujos esquemáticos de elementos sólidos tetraédricos lineales y parabólicos.



Elemento sólido lineal

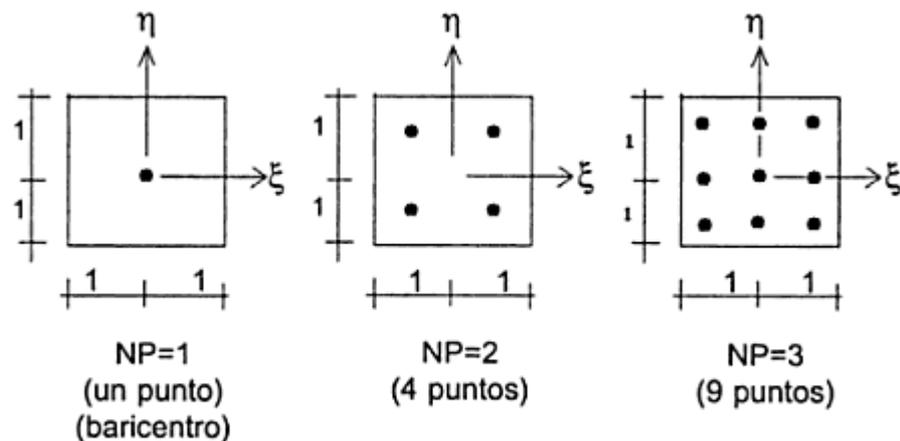
Elemento sólido parabólico

**Figura 33: Elemento tetraédricos lineales y parabólicos.  
(SolidWorks, 2011)**

Para la misma densidad de malla (número de elementos), los elementos parabólicos brindan mejores resultados que los elementos lineales porque: 1) representan contornos curvos con mayor precisión y 2) producen mejores aproximaciones matemáticas. Sin embargo, los elementos parabólicos requieren mayores recursos computacionales que los elementos lineales. (SolidWorks, 2011)

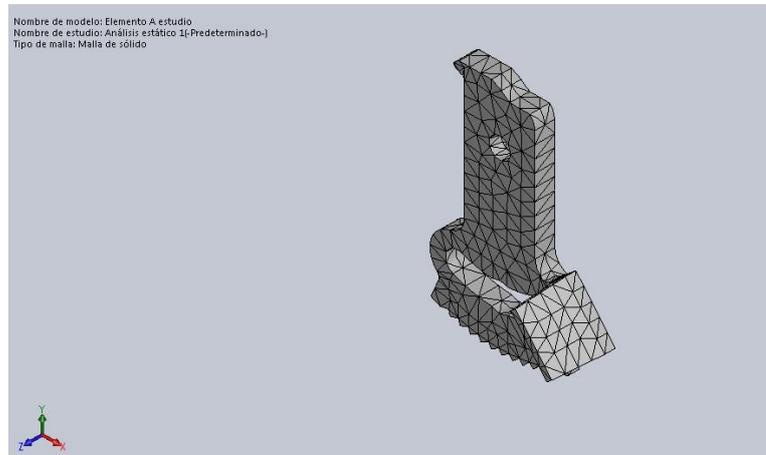
Puntos Jacobianos, establecen el número de puntos de integración que se usarán para verificar el nivel de distorsión de los elementos tetraédricos. Puede fundamentar la verificación jacobiana en 4, 16, 29 puntos gaussianos o en los nodos. (SolidWorks, 2011)

La Figura 31 muestra la ubicación de los puntos de integración gaussianos en elementos finitos planos



**Figura 34: Distribución de los puntos de integración gaussianos en elementos finitos planos.**

**Fuente: (Cerrolaza, 2007)**

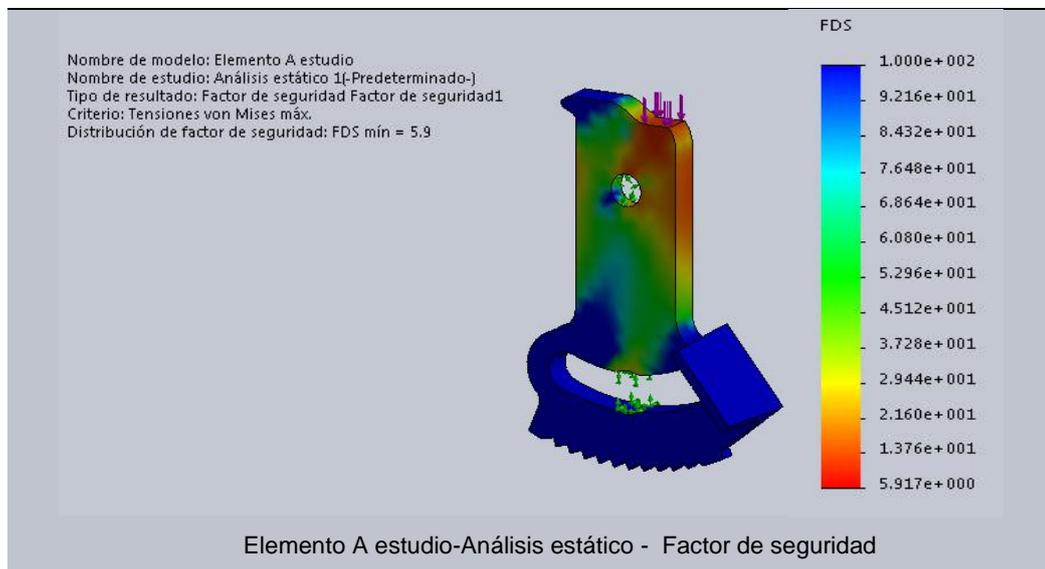


**Figura 35: Mallado del soporte izquierdo, previo a la ejecución de la simulación**

**Tabla 8**

**Resultado análisis del factor de seguridad en el soporte izquierdo**

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	5.9174 Nodo: 3180	100 Nodo: 5

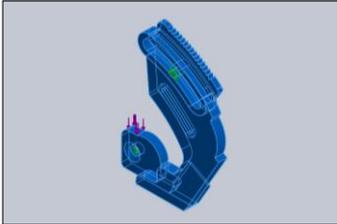


En la sección 3.1.3 Análisis factor de seguridad, se realiza un estudio detallado de los resultados que se muestran en la Tabla 8.

- Diseño estático soporte lateral izquierdo del eje que guía el cabezal.

**Tabla 9**

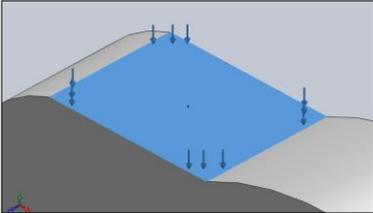
**Propiedades del material del soporte derecho.**

Referencia de modelo	Propiedades
	Material: <b>ABS</b> Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b> Límite de tracción: <b>3e+007 N/m<sup>2</sup></b> Módulo elástico: <b>2e+009 N/m<sup>2</sup></b> Coeficiente de Poisson: <b>0.394</b> Densidad: <b>1020 kg/m<sup>3</sup></b> Módulo cortante: <b>3.189e+008 N/m<sup>2</sup></b>

En la Tabla 9 se muestran las propiedades del material del soporte derecho, previo al estudio estático de cargas soportadas, también se muestra el tipo de modelo que se utilizará en la simulación; Isotrópico elástico lineal que es un modelo en el cual las características mecánicas del material no varían respecto de la dirección, es decir se mantienen sus propiedades sin importar el eje espacial desde el cual están siendo medidas dichas propiedades.

**Tabla 10:**

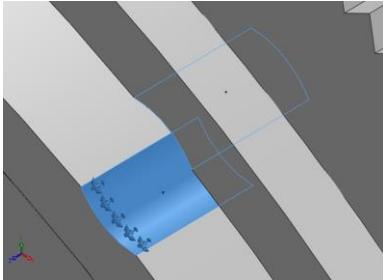
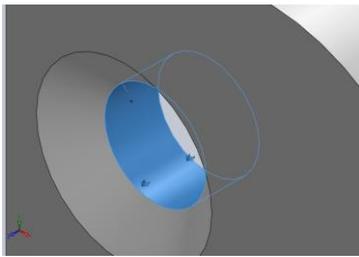
**Cargas que tolera el soporte derecho**

Nombre de carga	Imagen carga	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: <b>1 cara(s)</b> Tipo: <b>Aplicar fuerza normal</b> Valor: <b>6 lbf</b>

En la Tabla 10 se detalla la carga que sobrelleva el soporte derecho y la superficie de aplicación de dicha carga, siendo una fuerza normal de 6lbf, es decir 26,69 newtons.

**Tabla 11**

**Sujeciones del soporte derecho**

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
3-Tornillo fijo		<b>Entidades: 2 cara(s)</b> <b>Tipo: Tornillo fijo</b>			
<b>Fuerzas resultantes</b>					
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>	
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>-0.0072351</b>	<b>0.00989653</b>	<b>-0.0129497</b>	<b>0.0178321</b>	
<b>Momento de reacción(N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
4-Bisagra fija		<b>Entidades: 1 cara(s)</b> <b>Tipo: Bisagra fija</b>			
<b>Fuerzas resultantes</b>					
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>	
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>0.00703323</b>	<b>26.6798</b>	<b>0.0130293</b>	<b>26.6798</b>	
<b>Momento de reacción(N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	

Una vez aplicada la carga de 26,69 newtons sobre el soporte, se procede a determinar la reacción que provoca la carga aplicada.

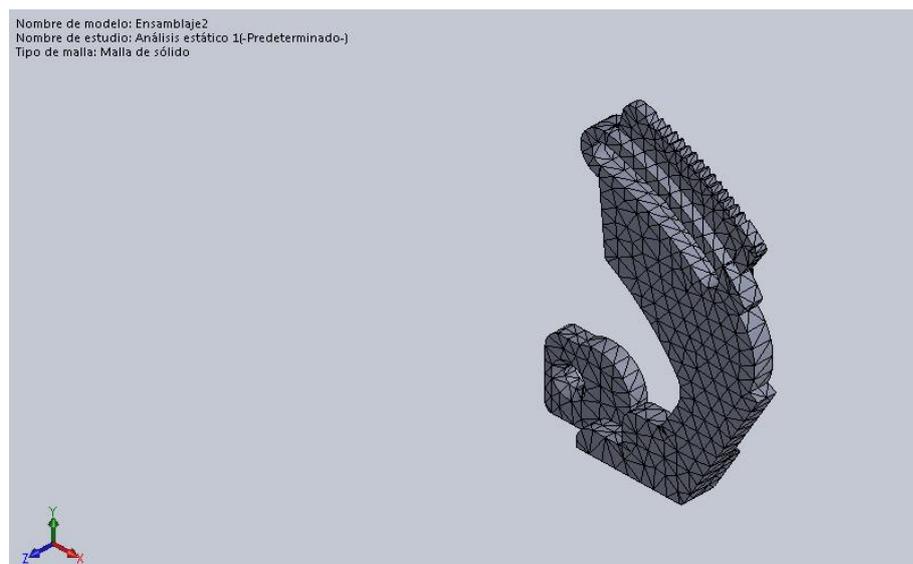
En la Tabla 10 se identifican dos sujeciones: la sujeción 3 que es de tipo tonillo cuya finalidad es asegurar el soporte en su sitio y la sujeción 4 que es de tipo bisagra atravesada por una guía tipo pasador. Al igual que en el anterior soporte, este elemento valida su diseño siempre y cuando el peso del eje que guía el cabezal sea soportado por la sujeción tipo bisagra. Lo cual se está cumpliendo según la resultante que se muestra en la sujeción tipo bisagra.

**Tabla 12**

**Información de la malla para el análisis del soporte derecho**

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estandar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Calidad de malla</b>	Elementos tetraédricos parabólicos

Para interpretar la información presentada en la Tabla 12 ver comentario de la Tabla 7 pág. 53.

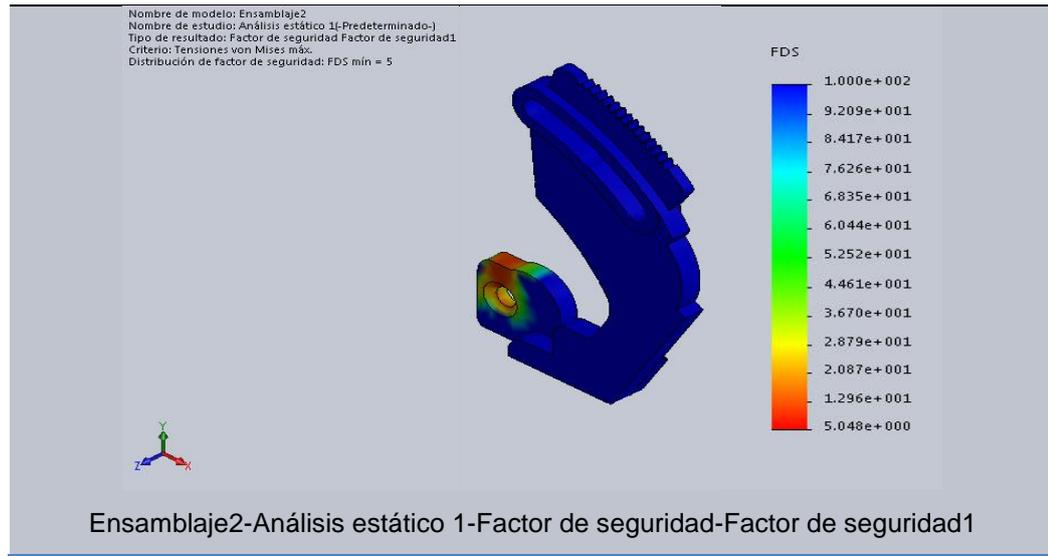


**Figura 36: Mallado del soporte derecho, previo a la ejecución de la simulación**

Tabla 13

## Resultado del estudio del factor de seguridad en el soporte derecho

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	5.0485 Nodo: 5959	100 Nodo: 1



El análisis de los resultados obtenidos en la tabla 13, se realiza a continuación en la sección 3.1.3 Análisis del factor de seguridad.

### 3.1.3 Análisis del factor de seguridad

El factor de seguridad depende de varios agentes como:

- Herramientas y recursos de diseño utilizados en el proceso de diseño.
- El uso que tendrá el elemento diseñado.
  - Confiabilidad.
  - Peligros: económicos, humanos.
- Tipo de carga.
  - Estática, Dinámica o combinada.
- Tipo de material.
  - Dúctil o frágil.
- Incertidumbre.
  - Composición exacta del material.

- Variación de las propiedades del material por efecto del medio ambiente.
  - Validez de los modelos matemáticos utilizados.
  - Influencia del tiempo sobre la resistencia y la geometría.
  - Efecto del desgaste.
  - Incertidumbre respecto de la longitud de la lista de incertidumbres.
- (Mott, 2006)

Entre mayor información se tenga sobre los aspectos en los que incide el factor de seguridad, se puede seleccionar un factor de seguridad menos conservador. Si existen incertidumbres sobre algunos aspectos en el diseño de elementos de máquina, se aconseja lo siguiente:

*Factor de seguridad (N) = 2,5 a 4 en diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas con incertidumbre acerca de las propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o efectos ambientales.*

(Mott, 2006)

Un factor de seguridad dentro del rango de 2,5 a 4 es adecuado para los soportes de la impresora PCB. (Mott, 2006) Un factor de seguridad de 5,049 (soporte derecho) y 5,917 (soporte izquierdo) se supondría un sobre dimensionamiento, porque el factor de seguridad calculado supera al factor de seguridad aconsejado. Pero la geometría y la tecnología para la elaboración no se pueden cambiar. Y el material adecuado para un elemento mecánico es ABS. Entonces no se pueden crear elementos con menor factor de seguridad, por lo tanto son justificables los factores de seguridad de 5,049 y 5,917.

### **3.2 Descripción del sistema de control**

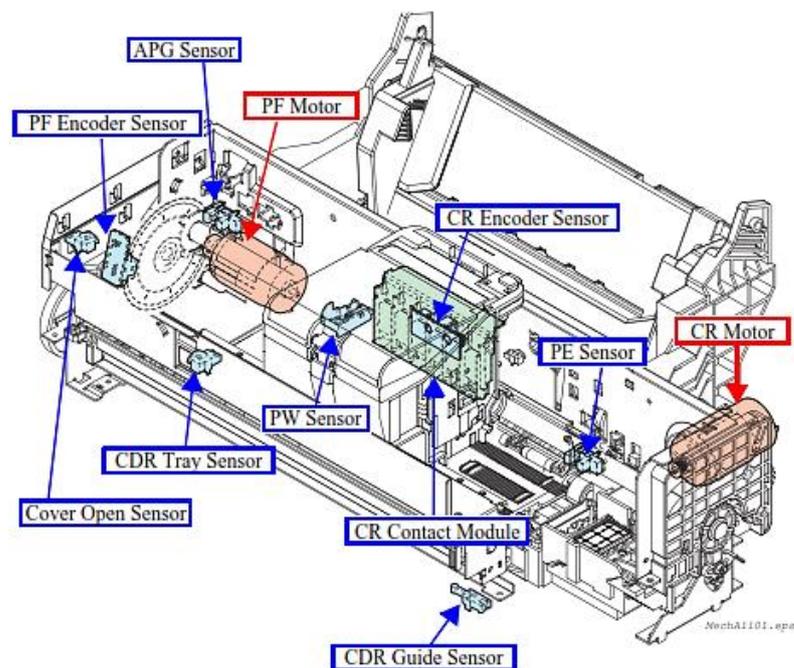
La máquina impresora presenta un sistema de control en lazo abierto, dicho sistema solo actúa sobre las señales de entrada del proceso y da como resultado una señal de salida independiente. Esto significa que no hay

retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Por tanto, si se produce una desviación entre el valor esperado y el valor real de salida, el sistema no podrá intervenir de manera autónoma en su corrección.

La impresora trabajará siempre y cuando las condiciones para imprimir sean las adecuadas, caso contrario no procede la impresión, pero tampoco habrá una acción de control destinada a corregir las condiciones inadecuadas. En la Figura 35 se observan las condiciones que no permiten la impresión y/o las condiciones que detienen la impresión.

### 3.2.1 Instrumentación de la impresora para PCB.

Los tipos de sensores instalados en la máquina son: sensores fotoeléctricos e interruptores de accionamiento mecánico, en la Tabla 14 se describen detalladamente los sensores de la impresora.



**Figura 37: Diagrama de motores y sensores Epson T50**

**Fuente: (Epson Company, 2009)**

### 3.2.1.1 Detalle de sensores.

**Tabla 14**

**Detalle de sensores, impresora Epson Stylus Photo T50**

No.	Denominación	Función
1	PE sensor	Ítems detectables: fin de papel, borde delantero del papel Tipo: Foto interruptor transmisivo
2	CR Contact module	Detección de cartucho de tinta
3	CR Encoder sensor	Tipo: Foto interruptor transmisivo Resolución: 180 pulse/inch
4	PF Encoder sensor	Tipo: Foto interruptor transmisivo. Resolución: 180 pulse/inch
5	PW sensor	Tipo: Foto interruptor reflectivo. Ítems detectables: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bordes izquierdo/derecho del papel (antes/ durante la impresión)</li> <li>• Borde superior del papel (antes de imprimir)</li> <li>• Borde inferior del papel (durante la impresión)</li> </ul>
6	APG sensor	Ítems detectables: Posición APG. Tipo: Foto interruptor transmisivo.
7	Sensor soporte guía de CD	Ítems detectables: Estatus de la guía del CD arriba/abajo Tipo: Contacto mecánico.
8	Sensor bandeja de CD	Ítems detectables: presencia de la bandeja de CD. Tipo: Contacto mecánico.
9	Sensor de cubierta	Ítems detectables: Estatus de la cubierta de la impresora. Tipo: Contacto mecánico.

**Fuente: (Epson Company, 2009)**

En el proceso de impresión de la placa PCB no intervienen los sensores N° 4, 6, 7 y 8 de la Tabla 11 Puesto que solo funcionan en presencia del soporte guía del CD, para realizar impresiones sobre CD's. El sensor N° 3 sirve para guiar el cabezal de impresión, pero no interviene en el sistema de control.

### **3.2.2 Funcionamiento de la máquina impresora.**

La operación de la máquina se inicia al recibir la orden de una nueva impresión, en este momento y en adelante se verificará las condiciones adecuadas para la impresión:

- PE sensor, detecta la presencia del suministro para la impresión.
- CR Contact module, detección de los cartuchos de tinta y nivel de tinta.
- PW sensor, detecta la posición de los bordes para continuar la impresión
  - Bordes izquierdo/derecho del suministro imprimible (antes/durante la impresión).
  - Borde superior del suministro imprimible (antes de imprimir)
  - Borde inferior del suministro imprimible (durante la impresión)
- Sensor de cubierta abierta, detecta si la cubierta de la impresora esta cerrada.

Si no se cumplen estas condiciones el proceso de impresión se detiene.

#### ***3.2.2.1 Descripción proceso de funcionamiento de la impresora base.***

El proceso arranca con la señal de iniciar una nueva impresión, al instante se activa el motor PF (ver Figura 34, sección 3.2.1 Instrumentación para impresora PCB) y entran en funcionamiento los rodillos feed roller (elemento inhabilitado por las modificaciones ver sección 2.1.3.1 Elementos que se retiran por impedir la impresión.) y el conjunto guía de papel frontal por su nombre en inglés: PAPER GUIDE FRONT ASSY (Epson, 2011), encargado de transportar la bandeja porta PCB a través de la impresora.

A continuación con la ayuda del sensor N° 1 de la Tabla 11 (PE sensor) se determina la presencia del material imprimible, si no hay suministro se detiene el motor PF y se muestra la alarma de falta de papel y reinicia el proceso, caso contrario se continua la impresión. En el siguiente paso se

determinan márgenes adecuados para la impresión con el sensor N° 5 de la Tabla 11 (PW sensor) y se estampa una línea de impresión.

Para continuar con la impresión se verifican los márgenes de impresión y la presencia de sustrato imprimible, mientras se imprime línea por línea hasta cuando finalice la impresión.

En la Figura 35 se muestra el flujo que sigue el proceso de impresión.

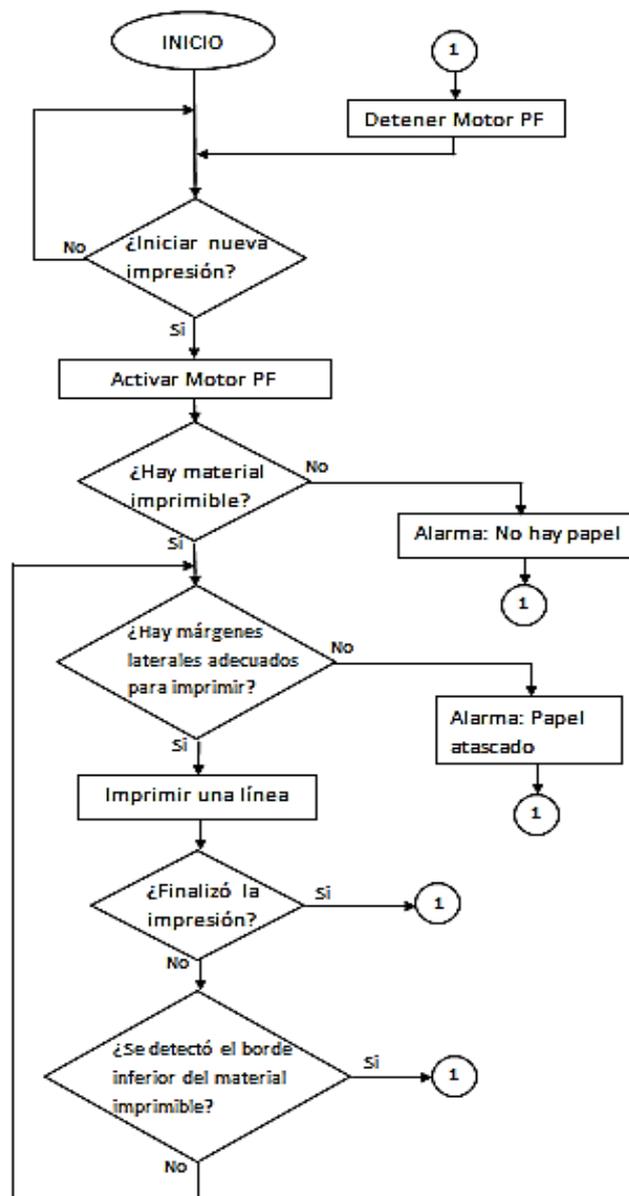
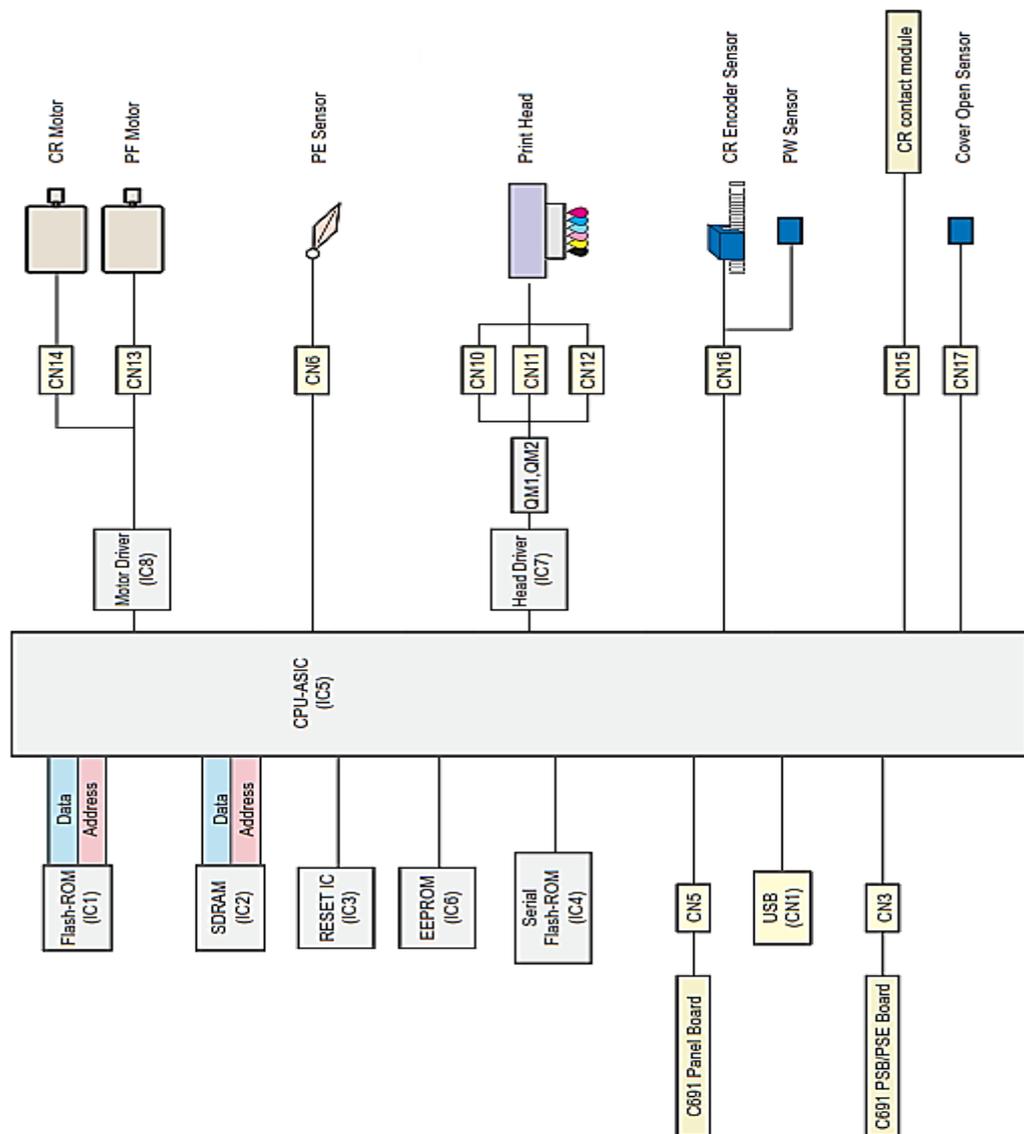


Figura 38: Diagrama de funcionamiento de la máquina impresora

### 3.2.3 Sistema de control central.

El sistema de control central se sitúa en la parte superior del mecanismo de impresión y controla todas las operaciones de la impresora, está conformado por la CPU-ASIC que es la unidad de control lógico encargada de activar y monitorear la actividad de cada sensor y actuador, el funcionamiento del Sistema de control central se basa en la secuencia descrita en la Figura 35.



**Figura 39: Diagrama de del sistema de control central**  
Fuente: (Epson Company, 2009)

### 3.3 Selección de elementos adicionales

#### 3.3.1 AUTO SHEET FEEDER de la impresora Canon BJC-2100.

*Función:* Guiar la bandeja porta PCB al inicio del proceso de impresión.

*Criterios de selección:* Amplitud para admitir el ancho del sustrato de impresión (215,9mm), tener guías regulables y reciclar partes de una impresora Canon fuera de funcionamiento.



Figura 40: Auto sheet feeder Canon BJC-2100

#### 3.3.2 DAMPERS.

*Función:* Reemplazar y cumplir con la misma función de los cartuchos de tinta originales.

*Criterios de selección:* Resistentes a la tinta solvente, adaptables al cabezal de impresión Epson DX5 y compatibles con el chip Epson T50 para sistema continuo de tinta.



Figura 41: Cartuchos tipo damper DX5 Epson T50 tinta solvente.

### 3.3.3 Chip Epson T50 para sistema de continuo de tinta.

*Función:* Simular la presencia de cartuchos originales en el cabezal de impresión de la impresora Epson T50.

*Criterio de selección:* Chip para seis cartuchos y compatible con la tecnología Epson stylus photo T50, para sistemas continuos de tinta.



**Figura 42: Chip Epson T50 para sistema de continuo de tinta.**

### 3.3.4 Panel de luz led Ultravioleta.

*Función:* Polimerizar la tinta UV de la placa PCB.

*Criterio de selección:* Emitir luz led ultravioleta para el curado de la tinta.



**Figura 43: Panel de luces led UV 12v**

### 3.3.4.1 Cálculo de la iluminación.

**Flujo luminoso (F).** Flujo luminoso total emitido por el panel led.

$$F = \Omega * I \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

$\Omega$ : ángulo sólido =  $4\pi$

El ángulo sólido para una fuente isotrópica es  $4\pi$  [sr].

$I$ : Iluminosidad =  $360$  mcd

$$F = \Omega * I$$

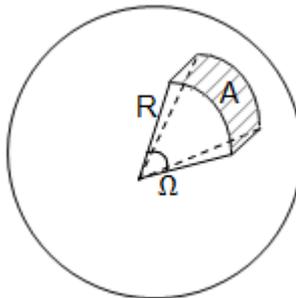
$$F = 4\pi * 0,360 \text{ cd}$$

$$F = 4,52 \text{ lm}$$

**Intensidad luminosa (I).** Intensidad luminosa de una fuente de luz, por unidad de ángulo sólido.

$$I = \frac{F}{\Omega} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\Omega = \frac{A}{R^2} \quad \text{Ec. (3)}$$



**Figura 44: Definición estereorradianes.**

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{0,1m * 0,15m}{(0,03m)^2}$$

$$\Omega = 16,67 \text{ sr}$$

Remplazo el valor del ángulo solido ( $\Omega$ ) y el valor del Flujo luminoso (F) en la Ecuación (2).

$$I = F/\Omega$$

$$I = \frac{4,52}{16,67}$$

$$I = 0,2714 \text{ cd}$$

**Iluminación (E).** Iluminación total sobre una superficie.

$$E = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (4)}$$

Remplazo la Ecuación (1) y la Ecuación (3) en la Ecuación (4)

$$E = \frac{\frac{A}{R^2} * I}{A}$$

$$E = \frac{I}{R^2}$$

$$E = \frac{0,2714 \text{ cd}}{(30\text{mm})^2}$$

$$E = 301,55 \text{ lux}$$

El flujo luminoso de una lampa led de alta potencia para impresión UV en plotter es de 16000 lm, y el tiempo de secado es de 3 segundos con un sistema de precalentamiento del sustrato. (Carnaghi, 2011) Mientras que el flujo luminoso del panel led utilizado en este proyecto es de 4,52 lm, a continuación determinamos el tiempo de curado.

Lúmenes	tiempo
16000	3 s
4,52	X

Es una relación inversa, por lo tanto:

$$X = \frac{16000 * 3}{4,52}$$

$$X = 10619,47 \text{ segundos}$$

$$X = 2 \text{ horas y } 56 \text{ minutos}$$

### 3.3.5 Tinta de curado con luz ultravioleta.

*Función:* Ser el estampe del circuito impreso sobre la placa.

*Criterio de selección:* Rápido secado en la placa (tinta de curado UV), y lento secado en el cartucho de tinta, tinta Resistente al agua y al cloruro férrico, y ser tinta de cabezal Epson DX5.



**Figura 45: Tinta Galaxy UV Ink Modelo JUE, para cabezal Epson DX5.**

*Características Técnicas:* El secado de esta tinta se realiza a un rango de temperatura de entre 25 C a 30 C, La polimerización de la tinta se lo realiza con luz led ultravioleta de 16000 lm.

Una vez que se selecciona un tipo de tinta, el relleno de los cartuchos se debe hacer con la misma tinta, si no se cumple esto, se crearían microcristales en los conductos del cabezal, obstruyéndolo y quedando inservible.

### **3.3.6 Rejilla base.**

*Función:* Elemento usado para conformar el habitáculo de admisión.

*Criterio de selección:* Medir 3mm de grosor, ser de un material maquinable, no muy costoso y/o debe ser un material reciclado.



**Figura 46: Rejilla base para conformar el habitáculo de admisión.**

## **CAPÍTULO 4**

### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

En el presente capítulo se detallan los aspectos propios de la fabricación y el montaje de los nuevos elementos que conforman la impresora de placas PBC, en base a los cálculos y consideraciones del Capítulo 3 Diseño Mecatrónico.

Un aspecto fundamental en el proceso de fabricación es la tecnología de manufactura, la cual parte de dos principios:

1. Propiedades mecánicas del material.
2. Complejidad del modelo geométrico.

Por lo cual mediante tablas descriptivas se especifican las propiedades mecánicas, así mismo mediante el uso de un software CAD (software de diseño asistido por computador, en este caso SolidWorks), se procede a realizar un modelo digital de los nuevos elementos. Todo esto con el objetivo de escoger la mejor tecnología de fabricación.

Una vez que se han elaborado los nuevos elementos se procede a su implementación.

En la sección de implementación para cada elemento se especifican la posición geométrica de colocación y el tipo de sujeción para asegurar el elemento en su sitio.

#### **4.1 Componentes mecánicos**

##### **4.1.1 Bandeja porta PCB.**

###### **4.1.1.1 Construcción de la bandeja porta PCB.**

*Propiedades del material.*

**Tabla 15**

**Propiedades del material ABS Acrilonitrilo butadieno estireno**

Material	Densidad	Módulo de tracción	Resistencia a la tracción	Alargamiento a la ruptura	Resistencia al impacto Izod (Notched)	Temperatura máxima de operación
	Kg/m <sup>3</sup>	GPa	MPa	%	J/m	C
<b>ABS</b>	1.02 - 1.07	1.4 - 2.8	21 - 63	75	350	60

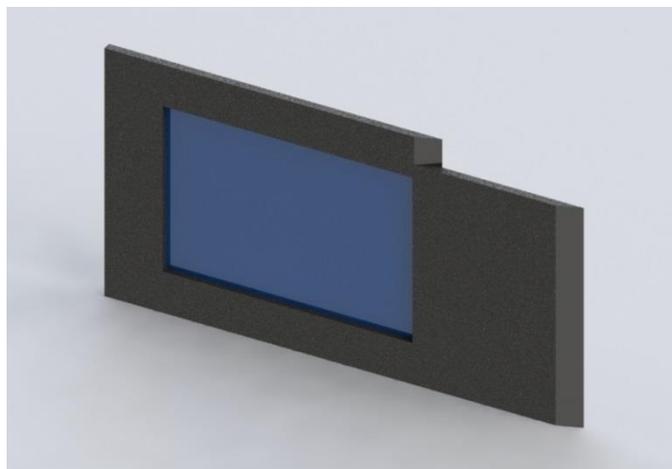
**Fuente: (DeGarmo, Black, & Kohser, 2002)**

*Tecnología de manufactura.*

Impresión 3d. Tipo de impresión FDM, modelado por depósito de fundente. El término equivalente es; *fused filament fabrication* (fabricación con filamento fundido).

El termoplástico es fundido y depositado por la boquilla en capas del grosor requerido (capas más finas implican mejor calidad en la pieza final). Una a una las capas se depositan de abajo hacia arriba para crear la impresión 3d. (3-bean impresiones, 2015)

*Resultado final.*



**Figura 47: Diseño concluyente en SolidWorks de bandeja porta PCB**

En el diseño geométrico de la sección 3.1.2.1 se encuentran especificadas las medidas de la bandeja porta placa.

#### 4.1.1.2 Implementación de la bandeja porta PCB.

La bandeja porta PCB se coloca sobre el soporte del módulo de alimentación y se fija con la ayuda de las guías regulables.

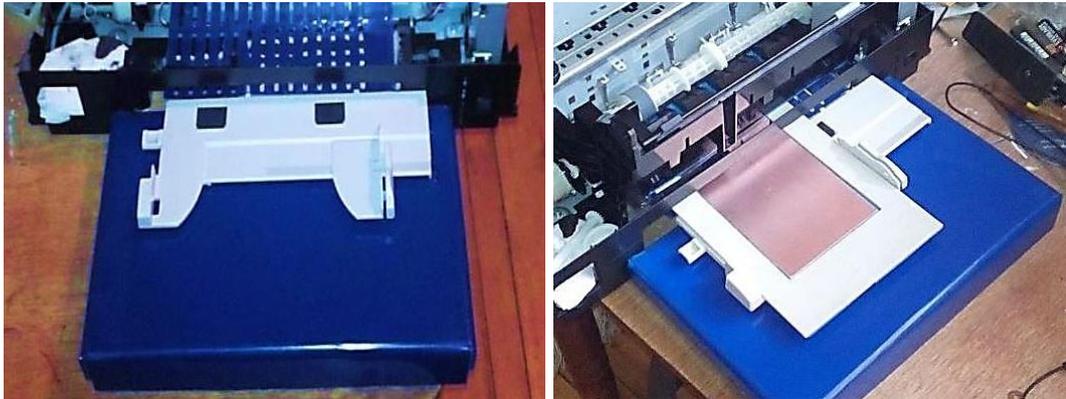


Figura 48: Bandeja Porta PCB: izquierda soporte sin bandeja, derecha soporte con bandeja

#### 4.1.2 Módulo soporte de alimentación.

##### 4.1.2.1 Construcción del soporte de alimentación.

*Propiedades del material.*

Tabla 16

#### Propiedades del material PMMA Polimetilmetacrilato (Acrílico)

Material	Densidad	Módulo de tracción	Resistencia a la tracción	Alargamiento a la ruptura	Resistencia al impacto Izod (Notched)	Temperatura máxima de operación
	Kg/m <sup>3</sup>	GPa	MPa	%	J/m	C
PMMA	1.18	2.1 - 2.8	60 - 80	7	40	65 - 93

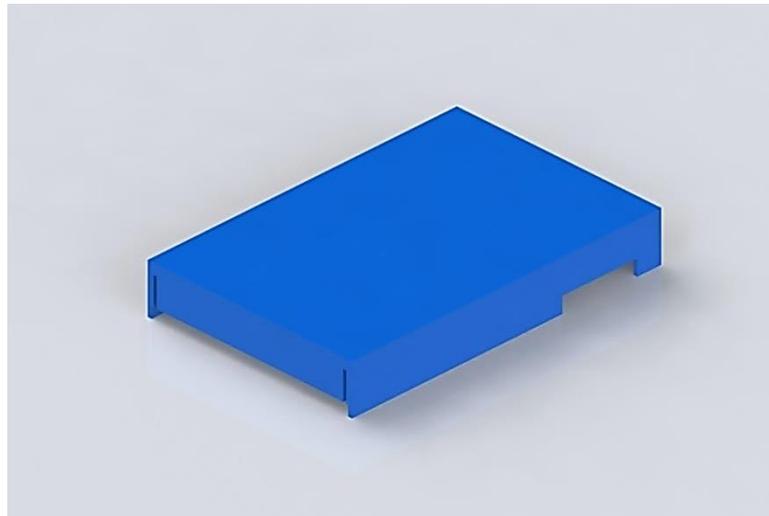
Fuente: (DeGarmo, Black, & Kohser, 2002)

### *Tecnologías de manufactura.*

Termoconformado y Arranque de viruta, son los procesos que se aplican para la elaboración del módulo de soporte para la alimentación.

En el termoconformado la plancha de acrílico es calentada para su doblado, tomando la forma que muestra la Figura 46. Luego se aplican procesos con arranque de viruta: cortado, limado y esmerilado, para crear la geometría adicional especificada en la sección 3.1.2.2.

### *Resultado final.*



**Figura 49: Diseño concluyente en SolidWorks del soporte de alimentación**

En la sección 3.1.2.2 se encuentran especificadas las medidas del módulo de soporte de alimentación.

A continuación se procese a empotrar el AUTO SHEET FEEDER de la impresora Canon BJC-2100 con silicona acética *SIKA*, que tiene buena adhesión sobre superficies lisas de acrílico.

#### 4.1.2.2 Implementación del soporte de alimentación.

El módulo de soporte de alimentación cuenta con dos agujeros en el lado adosado a la impresora, los agujeros sirven para la sujeción del módulo mediante de tornillos.



**Figura 50: Resultado definitivo Módulo soporte de alimentación**

#### 4.1.3 Modulo de curado.

##### 4.1.3.1 Construcción del módulo de curado.

*Propiedades del material.*

Ver Tabla 13

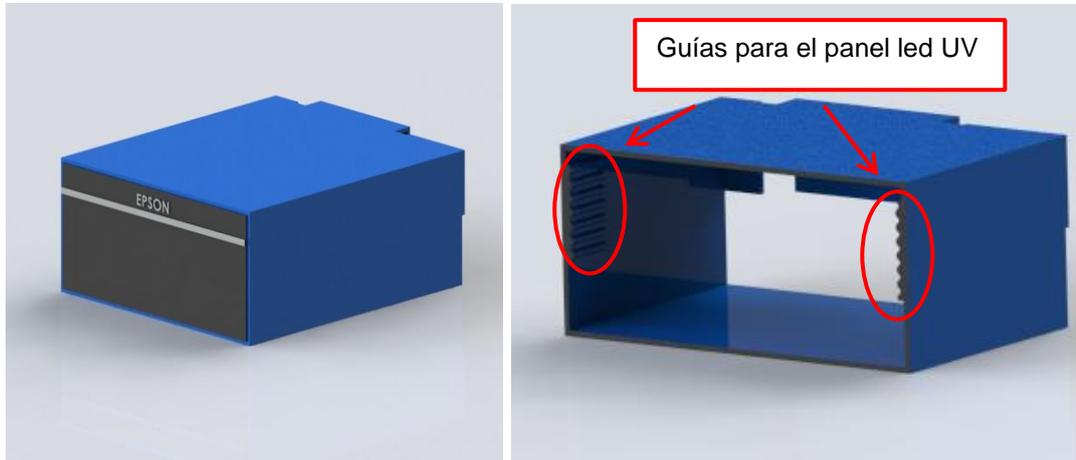
*Tecnología de manufactura.*

Procesos de arranque de viruta: Cortado, esmerilado, y procesos de unión de juntas: unión con remaches y unión con adhesivo.

La plancha de acrílico es cortada y luego unida por medio de cianoacrilato (adhesivo que fragua en pocos segundos con la humedad del ambiente, este adhesivo es utilizado para pegar acrílico).

La tapa del módulo de curado es asegurada por medio de remaches, para permitir el abatimiento (abrir, cerrar) de dicha compuerta.

*Resultado final.*

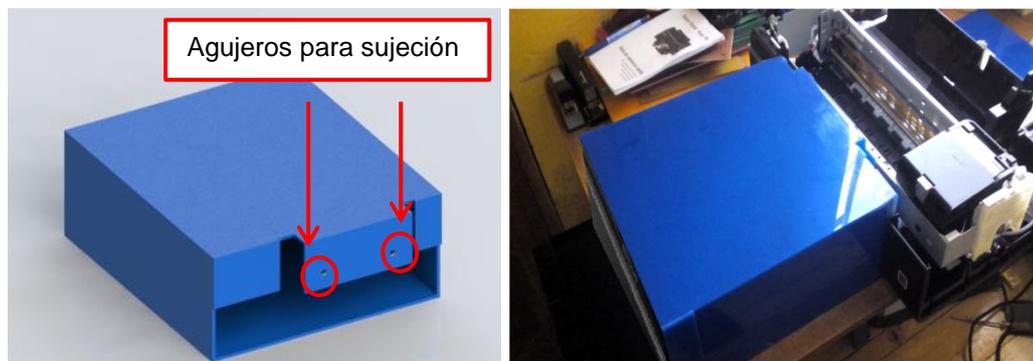


**Figura 51: Perspectiva del diseño concluyente en SolidWorks del módulo de curado: derecha vista frontal, izquierda de sección transversal**

En la sección 3.1.2.3 se especifican las medidas del módulo de curado.

#### **4.1.3.2 Implementación del módulo de curado.**

Para su ensamble con la impresora, el módulo de curado cuenta con dos agujeros en las pestañas opuestas al lado donde se encuentra la tapa del módulo de curado.



**Figura 52: Resultado definitivo Módulo de curado**

#### 4.1.4 Soporte lateral derecho e izquierdo del eje que guía el cabezal.

##### 4.1.4.1 Construcción de los soportes del eje.

*Propiedades del material.*

Ver Tabla 12

*Tecnología de manufactura.*

Ver tecnología de manufactura en sección 4.1.1.1

*Resultado final.*



**Figura 53: Diseño concluyente en SolidWorks del soporte izquierdo**



**Figura 54: Diseño concluyente en SolidWorks del soporte derecho**



**Figura 55: Resultado definitivo soporte izquierdo: izquierda antiguo soporte, derecha nuevo soporte**



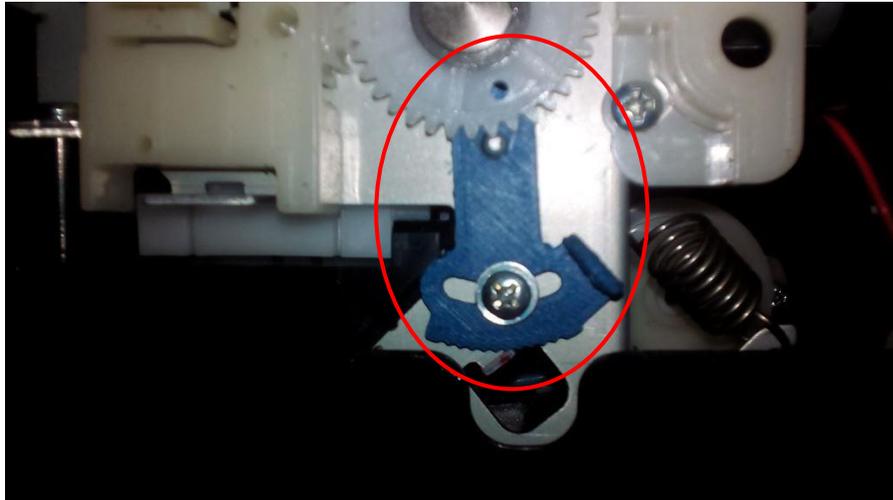
**Figura 56: Resultado definitivo soporte derecho: izquierda antiguo soporte, derecha nuevo soporte**

En los anexos A y B se encuentran especificadas las medidas del soporte lateral derecho e izquierdo de del eje que guía el cabezal.

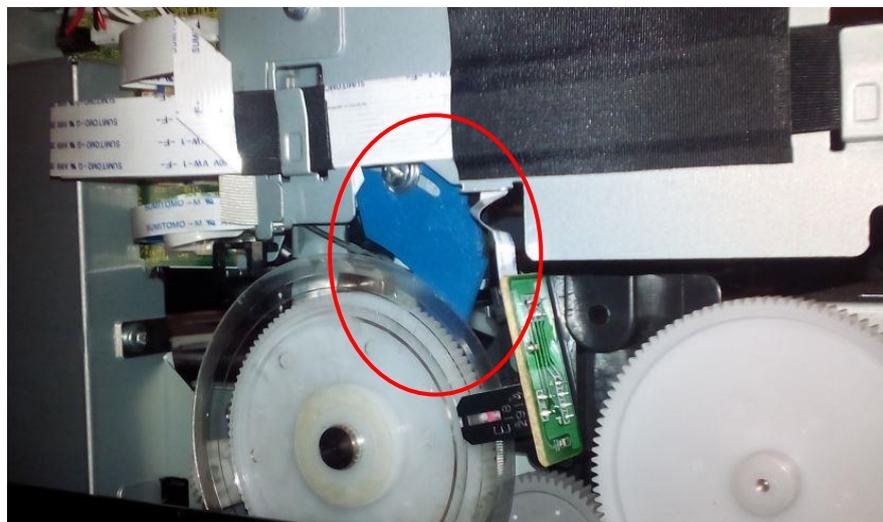
#### ***4.1.4.2 Implementación de los soportes del eje.***

El soporte izquierdo cuenta con un agujero como guía, y con una ranura para el apriete. El agujero es atravesado por un pasador adosado en la estructura metálica de la impresora y sirve para posicionar el elemento,

mientras que la ranura es atravesada por un tornillo y su función es fijar el elemento.



**Figura 57: Fotografía del soporte izquierdo instalado en la impresora**



**Figura 58: Fotografía del soporte derecho instalado en la impresora**

## 4.2 Componentes eléctricos y/o electrónicos

### 4.2.1 Panel de luces led ultravioleta.

Para la implementación del panel led, se monta una placa de acrílico en la parte interna superior del módulo de curado, en esta placa de acrílico se procede a insertar el panel de luces led ultravioleta.

En el ANEXO C se encuentra el plano de la instalación eléctrica del panel led



**Figura 59: Iluminación led UV, izquierda en módulo de curado y derecha en la cubierta de la impresora.**

### 4.2.1 Fuente de alimentación para el panel de luces led ultravioleta.

Para la implementación de la fuente que alimenta el panel de luces led, se conecta a un toma de 110v-120v. La fuente será un accesorio externo, que se conecta a la impresora en la parte posterior izquierda, donde se instala un plug hembra de 12v.



**Figura 60: Alimentación panel led, izquierda fuente de alimentación 110v/120v- 12v y derecha conector hembra 12v en impresora.**

### **4.3 Implementación nuevo sistema de tinta**

En la etapa de transferencia de información-fijación se procede a cambiar la tinta original por la nueva tinta de curado UV, para cumplir con este objetivo es necesario quitar el cabezal de impresión, ver sección “Disassembly/Assembly” (Epson Company, 2009).

#### **4.3.1 Limpieza del cabezal.**

Una vez que se ha extraído el cabezal. Con una jeringa y una pequeña porción de manguera se inyecta agua limpia a través de cada una de las tomas de tinta para eliminar la tinta que se encuentra dentro del cabezal. Se debe inyectar agua, hasta que ésta salga completamente transparente.

**Nota:** se debe inyectar solo agua limpia sin ningún tipo de líquido o polvo de limpieza, porque las partículas de la sustancia limpiadora, pueden tapan los finos conductos del cabezal.

Para eliminar los micro-cristales que se forman en los ductos internos con la tinta seca se procede a inyecta alcohol isopróptico de 70° (alcohol que se consiguen comúnmente en las farmacias).

**Nota:** no usar alcohol industrial, pues este alcohol estropea el cabezal.

Luego hay que dejar reposar el cabezal por un espacio de 3 a 5 horas hasta que se haya evaporado el alcohol que se utilizó en la limpieza.



**Figura 61: Limpieza del cabezal de impresión.**

Este procedimiento se lo realiza para evitar que se formen grumos al mezclar la antigua tinta con la nueva tinta y que se tapen los conductos internos del cabezal.

#### ***4.3.2 Adaptación de la nueva tinta.***

Una vez hecha la limpieza se coloca el cabezal en su sitio.

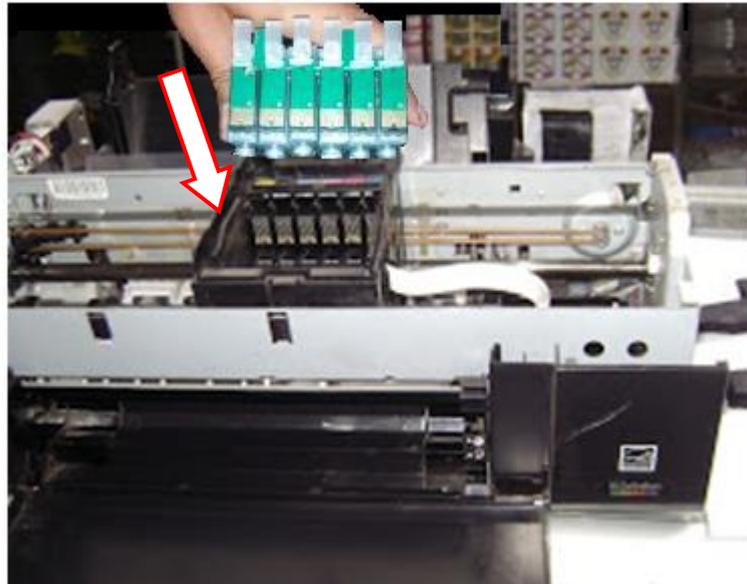
A continuación se adapta el chip de sistema continuo de tinta Epson T50, en los nuevos cartuchos de esta manera:



**Figura 62: Instalación del chip de sistema continuo de tinta.**

Como se muestra en la figura 63, se ubican dentro del cabezal los nuevos cartuchos tipo damper resistentes al solvente con el chip de sistema

continuo y se realiza el proceso de recarga de cartuchos descrito en el ANEXO D.



**Figura 63: Instalación de los cartuchos con el chip de sistema continuo de tinta.**

#### **4.4 Máquina impresora PCB**

El ensamble final de todos los elementos citados anteriormente dará como resultado lo siguiente (ver Figura 58 y Figura 59).



**Figura 64: Máquina impresora PCB vista superior**



**Figura 65: Máquina impresora PCB vista frontal**

## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Antes de especificar las pruebas a efectuarse, es necesario identificar la finalidad de dichas pruebas.

- Determinar el porcentaje de placas defectuosas impresas por la máquina.
- Conocer las falencias del diseño, con el fin de crear recomendaciones para futuras mejoras.
- Verificar la resistencia del estampe ante el ataque químico con cloruro férrico.
- Verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos para la realización del presente proyecto.

#### 5.1 Sistema mecánico

##### 5.1.1 Prueba de transporte.

Esta prueba consiste en transportar 40 veces la bandeja porta PCB a través de todo el mecanismo de la máquina impresora, con el objetivo de verificar posibles atascos y una posible desviación que puede sufrir la bandeja porta PCB en su paso por los diferentes mecanismos.

**Tabla 17**

#### **Resultados prueba de transporte**

	Atascos módulo de alimentación	Atascos módulo de curado	Atascos rodillos de transporte	Desviación bandeja PCB	Total problemas
Lote 1	0	0	0	2	2
Lote 2	0	0	0	3	3
<b>Total pruebas</b>	<b>40</b>		<b>Total placas con defecto</b>	<b>5</b>	

*Análisis.*

Prueba de transporte: No se dan casos de atascamiento de la placas, ni de la bandeja porta PCB, por lo tanto la distribución de los diferentes elemento en la máquina impresora es la adecuada, sin embargo en pocos caso la bandeja porta PCB se desvía (se inclina) cuando es transportada en la etapa de transferencia de información para evitar esta situación se recomienda ajustar la guía del soporte de alimentación al tamaño de la bandeja y mejorar el chaflán de la bandeja.

**5.2 Sistema eléctrico/electrónico****5.2.1 Prueba del sistema.**

Esta prueba consiste en accionar 20 veces el sistema y verificar su correcto funcionamiento.

**Tabla 18****Resultados pruebas del sistema**

	Alarma de error	Alarma de papel atascado	Alarma de falta de papel	Total problemas
Lote 1	0	0	2	2
Lote 2	1	0	3	4
<b>Total pruebas</b>	<b>20</b>		<b>Problemas totales</b>	<b>7</b>

*Análisis.*

Prueba del sistema: La impresora emite alarmas de falta de papel, esto sucede cuando la bandeja porta PBC no se ha situado de manera correcta en el soporte de alimentación. Para remediar esto es necesario colocar correctamente la bandeja en su lugar y presionar continuar en la ventana emergente con el aviso de alerta.

### 5.3 Producto entregado por la impresora

#### 5.3.1 Calidad del estampe.

Se procede a verificar visualmente el estampe hecho por la impresora (líneas continuas, y bordes regulares).

**Tabla 19**

#### Resultados prueba estampe en la PCB

	Solo líneas discontinuas	Solo bordes irregulares	Líneas y bordes uniformes	total
Lote 1	3	7	0	10
Lote 2	7	8	0	10
<b>Total pruebas</b>	<b>20</b>	<b>Total placas defectuosas</b>		<b>20</b>

#### *Análisis.*

Prueba calidad del estampe: La impresora muestra falencias en la calidad del estampe, ya que se notan líneas discontinuas y bordes irregulares. Para mejorar esta situación se recomienda aplicar cera de polvo de diamante para pulir la superficie o aplicar una fina película de base para lienzos GESSO de la marca roseta.

#### 5.3.1 Prueba resistencia al ataque químico.

Se procede a realizar el ataque químico con cloruro férrico, con las placas impresas por la impresora PCB.

**Tabla 20**

#### Resultados prueba ataque químico

	Solo líneas discontinuas	Solo bordes irregulares	Líneas y bordes uniformes	total
Lote 1	3	7	0	10
Lote 2	2	8	0	10
<b>Total pruebas</b>	<b>20</b>	<b>Total placas defectuosas</b>		<b>20</b>

*Análisis:*

Prueba de resistencia al ataque químico: Se observan pocos casos de líneas discontinuas, mas sin embargo hay una gran cantidad de pistas con bordes irregulares, para mejorar este problema se recomienda imprimir pistas de un grosor mínimo de 1,5 mm.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación se detalla el costo de la elaboración del presente proyecto.

#### 6.1 Costos directos

*Costos de materiales.*

**Tabla 21:**

**Costo total de materiales, accesorios y equipos empleados en la máquina impresora**

Descripción	Costo	Cantidad	Total
Impresora Epson T50	247,90	1	247,90
Plancha de Acrílico de 3mm de espesor	100,00	1/4	26,25
Auto sheet feeder Canon BJC-2100	0,00	1	0,00
Tinta de sublimación para prueba	6,83	1	6,83
Cianoacrilato (Pegamento)	1,00	4	4,00
Silicona acética SIKA	15,50	1	15,50
Sistema continuo de tinta	50,00	1	50,00
Dampers para cabezal Dx5	20,00	6	120,00
Manguera para tinta solvente	8,00	2	16,00
Cartuchos de repuesto	6,67	6	40,00
Tinta Galaxy UV	168,00	1	168,00
Panel led UV	35,00	1	35,00
Otros materiales	15,00	1	15,00
<b>TOTAL</b>			<b>744,48</b>

*Costos de construcción*

**Tabla 22**

**Costo total de construcción de elementos empleados en la impresora PCB**

Descripción	Costo	Cantidad	Total
Impresión 3d soportes del eje	10,0	2	20,00
Impresión 3d bandeja PCB	15,00	1	60,00
Construcción módulo de alimentación	5,00	1	5,00
Modificación de carcasa	5,00	1	5,00
Construcción módulo de curado	15,00	1	15,00
Modificación habitáculo de alimentación	12,00	1	10,00
Modificación del sistema de transporte y alimentación	15,50	1	15,50
<b>TOTAL</b>			<b>130,5</b>

El total de los costos directos es el siguiente:

$$\text{Costos directos} = \text{costo de materiales} + \text{costo de construcción}$$

$$\text{Costos directos} = 744,48 + 85,50$$

$$\text{Costos directos} = \$ 879,98$$

## 6.2 Costos indirectos

Costos indirectos que inciden en la elaboración del proyecto.

Tabla 23

**Valor total de costos indirectos para la realización del proyecto**

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Escrito (Impresiones, empastado, CD's, planos, etc)	60,00
Transporte	50,00
Energía eléctrica	45,00
Agua	5,00
Extras	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>260,00</b>

**6.3 Costo total del prototipo**

El costo total del presente proyecto resulta de la suma de los costos directos e indirectos, por lo tanto:

$$\text{Costo total del prototipo} = \text{costos directos} + \text{costos indirectos}$$

$$\text{Costo total del prototipo} = 879,98 + 260,00$$

$$\text{Costo total del prototipo} = \$ 1139,98$$

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 Conclusiones**

- Se consigue alcanzar el objetivo general del proyecto; diseñar y construir una impresora PCB, teniendo como base las piezas, mecanismos y tecnología de una impresora comercial, con buenos resultados en la impresión de pistas desde 1,5 mm de grosor. Se puede utilizar como impresora para circuitos de electrónica de potencia.
  
- Las modificaciones que sufrió la impresora base para alcanzar el objetivo, se centran en: la etapa de alimentación, etapa de transporte, etapa de transferencia de la tinta (fijación), y en la etapa de recepción del producto terminado.
  
- El control que monitorea la máquina es el mismo control con el cual cuenta la impresora base, que es un sistema de control en lazo abierto el cual verificará la presencia del sustrato imprimible (placas de cobre) para iniciar la impresión, y monitorea el avance del sustrato, evitando golpes del cabezal por atascos.
  
- Se consigue una máquina flexible que permite no solo imprimir pcb, sino cualquier clase de sustrato rígido de hasta 2,5 mm de grosor. En tamaño máximo de un formato letter/legal.
  
- No es posible imprimir con tinta de impresora o plotter sobre superficies sin tratamiento.

## 7.2 Recomendaciones

- Toda impresión hecha con tinta debe ser realizada sobre un sustrato adecuado, por lo tanto se recomienda efectuar un tratamiento con cera de diamante para mejorar la superficie de la placa antes de su impresión, o aplicar una fina película de una mezcla que contenga: base para lienzos GESSO 1ml, Decalizador acrílico de base agua 4ml ambos de la marca roseta y 90ml de agua.
- El sistema de tinta residual con el cual cuenta la impresora no es el adecuado para soportar tinta de curado ultravioleta, por lo tanto se recomienda cambiar el sistema de tintas residuales.
- Las impresiones con tinta de curado ultravioleta, se realizan sobre un sustrato pre-calentado a una temperatura de entre 25 C a 30 C, por lo tanto se recomienda calentar la placa antes de su impresión, para obtener mejores resultados.
- La potencia de las lámparas de luz led ultravioleta es un factor que incide en el curado de la tinta, por lo tanto, se recomienda aumentar la potencia de las lámparas a 16000 lm, que es el valor con el cual funcionan las lámparas de los plotter's.
- Se recomienda ajustar las guías del soporte de alimentación, para evitar una desviación de la bandeja porta PCB.
- Se recomienda utilizar la impresora PCB en la elaboración de placas electrónicas de potencia, con pistas de grosor mínimo de 1,5mm.

## BIBLIOGRAFÍA

- 3-bean impresiones. (2015). *Impresiones 3D*. Obtenido de <http://www.bean-3d.com/>
- 3M Company. (2011). Vinilo Autoadhesivo Scotchcal Serie SC 7725. *Boletín de Producto*.
- Boyano. (2006). *ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL ACCIONAMIENTO DE SOLENOIDES UTILIZADOS EN IMPRESORAS*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Carnaghi, D. (2011). Tintas de curado UV vs tintas al solvente. *Revista Letreros*.
- Cerrolaza, M. (2007). *El método de los elementos finitos para ingeniería y ciencias aplicadas: teoría y programas*. Caracas: CDCH UCV.
- DeGarmo, P., Black, T., & Kohser, R. (2002). *Materiales y procesos de fabricación*. Sevilla: REVERTÉ S.A.
- Epson. (2011). *EPSON STYLUS PHOTO P50 / T50 / T59 /T60 Exploded Diagram - Parts List*. EE. UU.
- Epson Company. (2009). *Service Manual Epson Stylus Photo T50/T59/T60/P50*.
- Frías. (2008). *REGENARACIÓN DE LEJÍAS AGOTADAS DE CLORUROS DE HIERRO Y NÍQUEL MEDIANTE ELECTRODEPOSICIÓN DE ALEACIONES HIERRO/NIQUEL*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Hernández, F. (2011). *Cinco años de abstinencia de todo ácido: La experiencia del grabado no tóxico en la Escuela de Artes Plásticas de la Universidad de Costa Rica*. San José de Costa Rica: Escuela de Artes Plásticas.
- Hernández, Murillo, & Cambronero. (2009). *Grabado en metal: Trucos y consejos prácticos Para el grabador contemporáneo*. San José de costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Herrero. (2011). *Salud y seguridad*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

- Hewlett-Packard. (2010). *LASERJET PROFESSIONAL P1100 SERIES PRINTER Service Manual*.
- Hewlett-Packard Development Company, H. (2010). *Guía del usuario HP LaserJet 1020*. EE. UU.
- Hewlett-Packard Development Company, H. (2010). *Manual LASERJET PRO P1102W*. EE.UU.
- INTEF, I. N. (2014). *Resolución de la imagen digital*. Obtenido de <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/87/cd/tem0/hoja0004.htm>
- Kalpakjian. (2006). *Manufactura Ingeniería y Tecnología*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Leggett. (2014). LPKF Laser & Electronics. *LPKF Newsletter*.
- Media, D. (2014). *Máquinas Láser de Grabado*. Obtenido de Ehow: [http://www.ehowenespanol.com/comprar-maquinas-laser-grabado-como\\_82174/](http://www.ehowenespanol.com/comprar-maquinas-laser-grabado-como_82174/)
- Megatronica. (2015). Obtenido de <http://megatronica-ecu.blogspot.com/>
- MercadoLibre. (2014). *Precio impresoras a tinta*. Obtenido de <http://computacion.mercadolibre.com.ec/impresoras-chorro-tinta/>
- Mott. (2006). *DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINA*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Multimagen. (2015). *¿Qué es la resolución de imagen y cómo se calcula?* Obtenido de <http://www.multimagen.com/notas/nota.php?id=9166>
- MYFPSCHOOL. (2013). *Impresoras de chorro de tinta. Tecnología piezoeléctrica o térmica*. Obtenido de <http://myfpschool.com/impresoras-de-chorro-de-tinta-tecnologia-piezoelctrica-o-termica/>
- Organización Mundial del Comercio. (2013). *Revista Escholarum. UAG*. Obtenido de <http://genesis.uag.mx/revistas/escholarum/articulos/cyt/industria.cfm>
- QuickShip. (2014). *Catalog: hp laserjet 1020 fuser assembly unit*. Obtenido de <http://www.quickshiptoner.com/catalog/hp-laserjet-1020-fuser-assembly-unit>

SMELEKTRONIK. (2013). *Precio de centímetros procesados*. Obtenido de <http://www.smelektronik.com.ec/portal/index.php>

SolidWorks. (2011). *Ayuda de SOLIDWORKS*. Obtenido de [http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Materials/Isotropic\\_and\\_Orthotropic\\_Materials.htm](http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Materials/Isotropic_and_Orthotropic_Materials.htm)

Superintendencia de Compañías. (2015). *La Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros*. Obtenido de <http://www.supercias.gob.ec/portal/>

Xerox. (2014). *User Guide*. Obtenido de Xerox Corporation: [www.xerox.com/office/6100support](http://www.xerox.com/office/6100support)