



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE UNA PLANCHA DE  
FOTOPOLÍMERO PARA IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA BAJO ESPECIFICACIÓN DE 120  
LÍNEAS POR PULGADA LINEAL (LPI)**

**Cesar Humberto Fuentes Zárate**

Asesorado por la Inga. Carmen Elizabeth Cifuentes Castillo

Guatemala, febrero de 2012.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE UNA PLANCHA DE  
FOTOPOLÍMERO PARA IMPRESIÓN FLEXÓGRAFICA BAJO  
ESPECIFICACION DE 120 LINEAS POR PULGADA LINEAL (LPI)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**CESAR HUMBERTO FUENTES ZÁRATE**

ASESORADO POR LA INGA. CARMEN ELIZABETH CIFUENTES CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADORA	Inga. Rosa María Girón Ruiz
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE UNA PLANCHA DE FOTOPOLÍMERO PARA IMPRESIÓN FLEXÓGRAFICA BAJO ESPECIFICACION DE 120 LINEAS POR PULGADA LINEAL (LPI)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de ingeniería Química, con fecha mayo de 2011.



Cesar Humberto Fuentes Zárate

Guatemala, 16 de septiembre de 2011

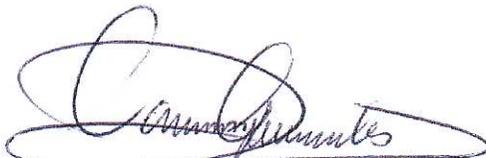
Ing. Williams Álvarez  
Director de Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ing. Álvarez:

De conformidad con la designación que me hicieron, he realizado la asesoría del trabajo de graduación titulado **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE UNA PLANCHA DE FOTOPOLÍMERO PARA IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA, BAJO ESPECIFICACIÓN DE 120 LÍNEAS POR PULGADA LINEAL (LPI)."**, elaborado por el estudiante universitario César Humberto Fuentes Zárate, carné No. 97-12074.

Luego de revisar el contenido y verificar la consistencia de los resultados y conclusiones, apruebo el presente trabajo de graduación.

Atentamente,



Ing. Carmen Elizabeth Cifuentes Castillo  
Ingeniera Química  
Colegiada No. 1,160  
Asesora



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 3 de noviembre de 2011  
Ref.EIQ.TG.251.2011

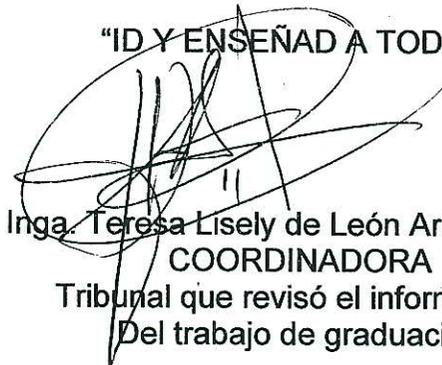
Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el **Acta TG-159-2011-B-IF** le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de **INGENIERO QUÍMICO** al estudiante universitario, **César Humberto Fuentes Zárate**, identificado con carné No. **97-12074**, titulado: **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE UNA PLANCHA DE FOTOPOLÍMERO PARA IMPRESIÓN FLEXÓGRAFICA BAJO ESPECIFICACIÓN DE 120 LINEAS POR PULGADA LINEAL (LPI)"**, el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Química **Carmen Elizabeth Cifuentes Castillo**.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Fuentes Zárate**, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



C.c.: archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **CÉSAR HUMBERTO FUENTES ZÁRATE** titulado: "EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE UNA PLANCHA DE FOTOPOLÍMERO PARA IMPRESIÓN FLEJOGRÁFICA BAJO ESPECIFICACIÓN DE 120 LÍNEAS DE PULGADA LINEAL (LPI)". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero de 2012



Cc: Archivo  
WGAM/ate



DTG. 090.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE UNA PLANCHA DE FOTOPOLÍMERO PARA IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA BAJO ESPECIFICACIÓN DE 120 LÍNEAS POR PULGADA LINEAL (LPI)**, presentado por el estudiante universitario **César Humberto Fuentes Zárate**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 28 de febrero de 2012.

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Con gratitud por sus cuidados y bendiciones inmerecidos.
<b>Milton Fuentes y Anadely Zárate</b>	Facilitadores de este proyecto.
<b>Mi familia</b>	En agradecimiento por su apoyo y paciencia.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Mi casa de estudios.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis padres</b>	Milton y Anadely, por su esfuerzo, ejemplo, enseñanzas, cuidados, atenciones y apoyo incondicional, la meta alcanzada es de ustedes
<b>Mi familia</b>	Por estar en todo momento conmigo, por el apoyo brindado.
<b>Marlon Fuentes</b>	Por acompañarme desde que llegaste al mundo y compartir las etapas de nuestras vidas.
<b>Alicia y Ronaldo Fuentes</b>	Por su cariño, apoyo y ayuda en todo momento, el verlos crecer me ha llenado de alegría.
<b>Mis amigos</b>	Por acompañarme a lo largo de este proyecto a los nuevos y a los de siempre.
<b>Mi asesora</b>	Por su apoyo e interés en la finalización de la investigación.
<b>Revisores</b>	Ing. Cesar García e Inga. Lisely de León por su colaboración para fijar el rumbo de la investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SIMBOLOS .....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Planchas de impresión .....	3
1.2. Procesado de fotopolímeros .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Desarrollo de la impresión flexográfica .....	7
2.2. Flexografía .....	8
2.2.1. Tintas para flexografía.....	10
2.2.2. Fotopolímeros .....	11
2.3. Aplicaciones industriales de la flexografía .....	13
2.4. Descripción del proceso de flexografía .....	15
2.4.1. Preprensa .....	15
2.4.2. Igualación de color .....	15
2.4.3. Impresión .....	16
2.4.4. Estampado.....	16
2.4.5. Troquelado.....	16
2.5. Principales variables que afectan el proceso de impresión flexográfica .....	17

2.5.1.	Planchas de impresión.....	17
2.5.2.	Estructura de la plancha .....	18
2.6.	Procesadora Kelleight 213 .....	19
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	21
3.1.	Variables.....	21
3.1.1.	Exposición dorsal de la plancha.....	22
3.1.2.	Exposición frontal de la plancha. ....	22
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	23
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	23
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	23
3.5.	Recolección y ordenamiento de la información .....	24
3.5.1.	Procedimiento para determinar el tiempo de exposición dorsal de la plancha .....	26
3.5.2.	Procedimiento para seleccionar tiempos de exposición frontal de la plancha por medio de un panel evaluador .....	27
3.5.3.	Procedimiento para determinar el tiempo de exposición frontal por medio de mediciones densitométricas.....	28
3.6.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	29
3.6.1.	Alturas dorsales de fotopolímero obtenidas para diferentes tiempos de exposición dorsal a radiación UV con $\lambda = 320$ nm. ....	29
3.6.2.	Evaluación realizada por un panel experto del anclaje de punto para diferentes tiempos de exposición a radiación UV con $\lambda = 320$ nm fotopolímero de 1.02 mm de espesor dorsal. ....	30

3.6.3.	Mediciones densitométricas realizadas al impreso con fotopolímero con espesor dorsal de 1.02 mm de pulgada de pulgada para tiempo de exposición frontal a radiación UV con $\lambda = 320$ nm de 10 minutos.....	31
3.7	Análisis estadístico .....	32
3.7.1	Altura dorsal en función del tiempo de exposición a radiación UV con $\lambda= 320$ nm .....	32
3.7.2	Tiempo de exposición frontal a radiación UV con $\lambda= 320$ nm para un fotopolímero con altura dorsal de 1.02 mm. ....	33
3.7.3	Evaluación de ganancia de punto impreso realizado con fotopolímero con 1.02 mm de espesor dorsal y 10 minutos de exposición frontal a radiación UV con $\lambda= 320$ nm. ....	33
4.	RESULTADOS .....	35
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	39
	CONCLUSIONES.....	43
	RECOMENDACIONES.....	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47
	APÉNDICES.....	49



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Plancha de fotopolímero.....	2
2.	Oportunidad de empaques impresos.....	13
3.	Oportunidad de impresión flexográfica.....	14
4.	Plancha de fotopolímero virgen.....	28
5.	Flujograma de la recolección y ordenamiento de información.....	24
6.	Altura dorsal en función del tiempo de exposición a radiación UV .....	35
7.	Altura dorsal de muestras de fotopolímero expuestas 120 segundos a radiación UV con $\lambda= 320$ nm .....	36
8.	Fijación de punto de impresión para diferentes tiempos de exposición frontal a radiación UV con $\lambda = 320$ nm.....	37

### TABLAS

I.	Porcentaje de flexografía según segmento de impresos.....	14
II.	Matriz de Variables.....	21
III.	Altura dorsal de fotopolímero para diferentes tiempos de exposición radiación UV con $\lambda=320$ nm.....	29
IV.	Evaluación de anclaje de punto para diferentes tiempos de exposición frontal a radiación UV con $\lambda=320$ nm .....	30
V.	Evaluación de ganancia de punto impreso realizado con fotopolímero con 1.02 mm de pulgada de espesor dorsal y 10 minutos de exposición frontal a radiación UV con $\lambda= 320$ nm .....	31

VI.	ANOVA de datos obtenidos de altura dorsal para diferentes tiempos de exposición a radiación UV con $\lambda= 320$ nm.....	32
VII.	ANOVA de datos obtenidos de altura dorsal para diferentes tiempos de exposición a radiación UV con $\lambda= 320$ nm.....	33
VIII.	ANOVA de ganancia de punto para un impreso elaborado con los tiempos de exposición óptimos obtenidos .....	34
IX.	Ganancia de punto para impresos realizados con las planchas de fotopolímero elaboradas con los tiempos óptimos obtenidos de exposición a radiación UV con $\lambda= 320$ nm .....	38

## LISTA DE SIMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>R</b>	Coeficiente de correlación.
$\sigma$	Desviación estándar.
<b>F</b>	Factor F de la distribución de Fisher.
<b>G.P.</b>	Ganancia de punto.
$\lambda$	Longitud de onda.
<b>UV</b>	Radiación Ultravioleta
<b>F<sub>c</sub></b>	Valor F de la distribución de Fisher según los grados de libertad del experimento.



## **GLOSARIO**

<b>ANOVA</b>	Análisis de Varianza.
<b>Cliché</b>	Nombre que se utiliza para referirse al fotopolímero.
<b>CMYK</b>	En artes gráficas indica los colores cyan, magenta, amarillo, negro.
<b>Cyrel PLS</b>	Plancha de fotopolímero fabricada para impresión sobre papel.
<b>Exposición dorsal</b>	Exposición directa a radiación ultravioleta de la parte inferior de la plancha de fotopolímero.
<b>Exposición frontal</b>	Exposición a radiación ultravioleta de la parte superior del fotopolímero colocando sobre este una película de negativa.
<b>Flexografía</b>	Método directo de impresión rotativo en alto relieve que utiliza planchas flexibles.
<b>Fotopolímero</b>	Materiales plásticos sensibles a la radiación electromagnética. En flexografía la radiación utilizada es ultra violeta.

<b>GP</b>	En artes gráficas ganancia de punto de impresión, es cuando el punto impreso es más grande de lo esperado.
<b>Lavado</b>	Proceso por el cual se elimina el material no polarizado por medio de contacto con solventes y un cepillo.
<b>Lente cuenta hilos</b>	Lente de aumento utilizado en artes gráficas.
<b>Lineaje</b>	Unidad de medida que indica líneas por pulgada lineal.
<b>LPI</b>	Líneas por pulgada lineal.
<b>Micrómetro</b>	Equipo que sirve para medir las dimensiones de un objeto con alta precisión, del orden de centésimas de milímetros (0,01 mm).
<b>Negativo</b>	Película fotográfica de alto contraste donde se transfiere el arte que se desea imprimir.
<b>Pre prensa</b>	Grupo de actividades que se realizan previas a llevar un trabajo al equipo de impresión.
<b>Procesadora kelleight 213</b>	Equipo para elaborar fotopolímeros para impresión flexográfica.

<b>Radiación UVA</b>	Tipo de radiación ultravioleta cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm ( $4 \times 10^{-7}$ m) y los 320 nm ( $1,5 \times 10^{-8}$ m). También llamada radiación UV de onda larga.
<b>Rodillo Anilox</b>	Rodillo regulador de tinta utilizado en impresión flexográfica. Se fabrica grabado mecánicamente o bien grabado mediante láser para disponer de una superficie con microceldas con las que se controla el nivel de tinta que se transmite en el proceso de impresión.
<b>Secado</b>	Proceso por el cual se elimina el solvente absorbido por el fotopolímero.
<b>Semitono</b>	Los puntos intermedios entre el valor un color sólido y la ausencia de color.
<b>Sustrato de impresión</b>	Es la superficie sobre la cual se imprime.
<b>Tipómetro</b>	Regla graduada de metal o plástico con diferentes unidades de medida.



## RESUMEN

Uno de los sistemas de impresión altamente utilizados en la actualidad es la flexografía, es un sistema de impresión directa donde se transfiere tinta de una plancha en alto relieve a un sustrato de impresión y en la plancha de impresión está fijada la imagen que se desea imprimir. Uno de los métodos para fijar la imagen a la plancha es la exposición de la plancha a radiación ultravioleta.

En la investigación realizada se evaluó la metodología para la elaboración de planchas para impresión flexográfica a 120 líneas por pulgada lineal, para esto se evaluaron las dos principales variables que afectan el proceso, el tiempo de exposición dorsal a radiación UV y el tiempo de exposición frontal a radiación UV, con los cuales se determinaron los tiempos óptimos de exposición a radiación UV para preparar las planchas de impresión.

Finalmente se realizaron mediciones de densitometría al impreso resultante de la plancha elaborada con los tiempos óptimos obtenidos y se logró determinar que el proceso cumple con los estándares de calidad de impresión en el mercado, confirmando así la funcionalidad de la plancha.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el proceso de elaboración de una plancha de fotopolímero para impresión a 120 líneas de resolución.

### **Específicos**

1. Evaluar la obtención de altura de piso en matriz de fotopolímero, en función de diferentes tiempos de exposición de radiación ultravioleta dorsal para la obtención del grosor óptimo especificado de 40 milésimas de pulgada, mediante correlación de mínimos cuadrados.
2. Evaluar la fijación de punto de impresión en fotopolímero con 40 milésimas de pulgada de altura dorsal, en función de diferentes tiempos de exposición de radiación ultravioleta frontal para obtener rango de pantallas de 5% a 95% de porcentaje de punto en negativo a 120 líneas de resolución.
3. Diseñar un panel de evaluación de la fijación de punto de impresión en fotopolímero, mediante una escala preestablecida para el criterio de aceptabilidad.
4. Evaluar la fijación de punto de impresión en fotopolímero mediante medidas de densitometría basándose en criterios preestablecidos de aceptabilidad.



## INTRODUCCIÓN

La flexografía es una técnica de impresión en relieve directa mediante planchas o formas flexibles, estas planchas son llamadas comúnmente cliché y generalmente son de fotopolímero, el cual por ser un material flexible es capaz de adecuarse a una gran variedad de sustratos de impresión. El cliché es parte fundamental en la impresión flexográfica ya que la imagen a imprimir va en éste y el resultado impreso depende de las características que este cliché posea.

Una de las medidas que determinan la calidad en impresión es el LPI que significa líneas por pulgada aunque comúnmente sólo se le llama lineaje de impresión, mientras mayor sea el número mejor será la calidad del impreso; pues el detalle que se puede lograr en el impreso es también mayor.

Actualmente en la empresa Flexografía se trabaja a 90 LPI, lo cual si bien es funcional no es acorde a las exigencias del mercado en la actualidad, convirtiéndose en un limitante para ofrecer impresos con mayor definición por lo que se buscará aumentar este lineaje a 120 LPI para obtener mejores impresos, la primera mejora a realizar es el de las planchas de impresión ya que actualmente no se ha conseguido elaborar una que sea funcional para este lineaje; en las páginas siguientes se evaluará el procedimiento para la consecución de planchas.



## 1. ANTECEDENTES

Mientras mayor sea el lineaje mayor será la calidad del impreso, pues tiene mayor detalle, por lo que si se quiere lograr una mejor calidad de impresión, se debe mejorar la calidad de la plancha de impresión.

Actualmente se cuenta con algunos datos generales, en cuanto al procedimiento según las especificaciones de los fabricantes para la obtención del fotopolímero. A continuación se describe el proceso según información obtenida, así como los tiempos sugeridos por el fabricante para la elaboración de la plancha de fotopolímero.

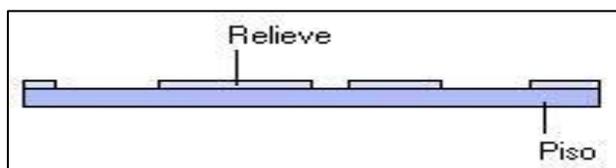
- Exposición de respaldo: se coloca la plancha sobre la cama de la unidad de exposición con el respaldo de poliéster transparente hacia las lámparas. Su exposición a la radiación UV crea una capa de fotopolímero endurecido que se convierte en el piso de la plancha; cuanto más larga sea la exposición, más espeso será en piso de la plancha y menos profundo será en relieve. “A mayor tiempo de exposición, mayor piso y menor relieve.”<sup>1</sup>
- Exposición frontal: se coloca la plancha sobre la cama de la unidad de exposición con la cubierta protectora hacia las lámparas, se retira la cubierta protectora. Se coloca el/los negativo(s) sobre el fotopolímero y se aplica un cobertor para permitir contacto estrecho entre la plancha y el negativo en estado de vacío, al ser activada la fuente de rayos UV,

---

<sup>1</sup> SALAS TOBAR, Byron. *Proceso de impresión flexográfica*. <http://flexografía.com>. [Consulta: 14 de febrero 2011].

radiación pasa a través de las áreas transparentes del negativo y polimeriza o endurece el fotopolímero.

Figura1. **Plancha de fotopolímero**



Fuente: Manual de proceso y uso de planchas para la impresión flexográfica. p. 3.

- Lavado: se coloca la plancha expuesta en la unidad lavadora, la solución lavadora y los cepillos empiezan a remover el polímero sin curar de la cara de la plancha; la remoción de polímero se hace paulatinamente, profundizando en la plancha hasta llegar al piso.
- Secado: el proceso de secado evapora la solución lavadora absorbida durante el lavado, es importante que se seque lo suficiente para asegurar la reproducción correcta de la imagen y mantener el espesor correcto de la plancha.
- Curado: el tratamiento con UV germicida es una técnica excelente y permanente para eliminar la pegajosidad de la plancha, en los casos en los que no se cuenta con UV germicida para eliminar la pegajosidad de la superficie se utilizará la sumersión en solución con cloro.
- Post-exposición: durante el acabado o después, las planchas reciben una exposición adicional a los rayos UV para completar el proceso de polimerización y se logra así las propiedades físicas óptimas.

## 1.1. Planchas de impresión

Se dice que es la formación de flexo fotopolímeros, es un proceso fotográfico comparado con el sistema de grabado fotomecánico y moldeo, cada plancha fotopolímera es un original derivado directamente de un negativo. Anteriormente se utilizaban planchas de caucho, las cuales eran fabricadas por moldeo; ahora se utilizan planchas fotopolímeras, plásticos sensibles a la radiación UV, estas planchas fotopolímeras son flexibles y facilitan que le sean grabadas figuras y/o textos usados en la impresión.

“La flexografía es un sistema de transferencia de tinta que usa un cliché de fotopolímero, como medio de transferencia de la impresión”<sup>2</sup>. La plancha es grabada por la exposición del fotopolímero a la luz ultravioleta a través de una película negativa que contiene la imagen que se desea reproducir. El negativo sirve como un estencil, es colocado en íntimo contacto con una capa de líquido fotopolímero o sobre la superficie de la lámina fotopolímera. El conjunto es expuesto a la radiación U.V. donde entra la radiación, endurece el fotopolímero y las áreas no expuestas permanecen intactas.

Después de la exposición se remueve el negativo y el fotopolímero es lavado con un solvente recomendado o con un detergente para remover el fotopolímero no endurecido, dejando las áreas expuestas o de imagen duras y en relieve. El sistema de transferencia de tinta para flexografía se realiza a través de un rollo de transferencia “anilox” grabado.

La flexografía se desarrolló rápidamente en los últimos veinte años comenzando como un proceso de baja calidad hasta llegar al proceso intensivo

---

<sup>2</sup> TUCUBAL PEREZ, Mario Alberto. *Implementación de un sistema de calidad en la impresión de empaques flexibles en la industria flexográfica*. p. 32.

de gráficos de primera calidad que conocemos hoy. Este avance ha sido alcanzado a través de perfeccionamientos en la prensa y en la plancha de impresión fotopolimérica, junto con perfeccionamientos en las tintas y en los sistemas anilox, la rápida conquista de espacio en el mercado de parte de la flexografía se debe a su adecuación y alineación con el mercado de empaques, en permanente cambio, por ejemplo, las corridas son más cortas, los gráficos están aumentando, la calidad es más alta y las restricciones ambientales y legislativas son mayores junto con las previsibles presiones sobre costos.

## **1.2. Procesado de fotopolímeros**

Para realizar el procesado se necesita un polímero sensible a la radiación ultravioleta, los cuales hay en el mercado en diferentes medidas, espesores, durezas y números de capas; para obtener los relieves en el material fotopolímero debe realizarse una serie de pasos, tales como; exposición al dorso y al frente, lavado, secado, post-exposición y post-tratamiento.

Después de cortar el material a las medidas necesarias según el negativo, se procede a realizar la exposición por el dorso; el proceso inicia con la exposición del material fotopolímero con radiación UV, por el dorso del mismo, esto con la finalidad de producir una altura específica de relieve.

La exposición por el dorso es inversamente proporcional al relieve, es decir que en cuanto mayor es el tiempo de exposición, menor será el relieve que se obtendrá. Luego de exponer por el dorso se procede a colocar el negativo en la parte frontal del fotopolímero, sobre éstos se coloca una película plástica transparente y luego se enciende la bomba de vacío.

El vacío generado, mejora la adherencia entre el negativo y la plancha fotopolímera. “A través de las áreas de baja densidad óptica del negativo, la radiación UV es capaz de filtrarse y llegar hasta el fotopolímero, generando de esta manera polimerización sólo en esta superficie. Y por el contrario donde la densidad óptica es alta, la radiación no es capaz de filtrarse, por lo tanto, no existirá polimerización en estas partes”<sup>3</sup>. Luego de realizar la exposición principal, se apaga la bomba de vacío se retira la película plástica y el negativo.

El lavado del fotopolímero puede realizarse en una lavadora de tambor o en una plana, de acuerdo con el tipo de equipo que la empresa posea, el lavado se realiza con un solvente químico a base de percloroetileno y butanol o bien empleando un solvente ecológico exento de cloro. Los cepillos de la lavadora remueven todo aquel material que no se polimerizó debido a las áreas de alta densidad óptica, es decir que los relieves están formados solamente por fotopolímero polimerizado.

Después se realiza el secado, colocando el material en el horno de secado durante dos horas a 65 grados centígrados. En un buen número de empresas en Guatemala el secado se suele realizar durante menor tiempo, debido a las exigencias de trabajo, al no realizar adecuadamente el secado, se reduce de manera considerable la vida útil del fotopolímero.

El penúltimo paso es la post-exposición, el fotopolímero se expone nuevamente a la radiación UV, el post-tratamiento es el paso del proceso que elimina la pegajosidad del fotopolímero.

---

<sup>3</sup> FUNDACIÓN PARA LAS ARTES GRÁFICAS. *Flexografía: principios y prácticas*. p 215.



## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Desarrollo de la impresión flexográfica

No se ha determinado con exactitud el surgimiento de la impresión flexográfica, “fue hasta 1908 cuando la compañía Holweng patentó la primera máquina de flexográfica al producir bolsas en correa continua por medio del secado rápido de los colorantes de la anilina. Tiempo después, el uso de la anilina se discontinuó por su efecto contaminante y en consecuencia se desarrollaron nuevas tintas amables con el medio ambiente, pero el término de anilina seguía en uso”<sup>4</sup>.

Ese fue el inicio del sistema que más tarde llamarían flexografía y que crecería en su utilización de manera exponencial, considerando que en un futuro este sistema sustituirá al *offset*.

La flexografía al basarse en impresión en relieve, es ideal para imprimir sobre diferentes tipos de superficies ya sean absorbentes o no, con el paso del tiempo se ha tenido la necesidad de la documentación y controles de proceso para buscar repetitividad en las condiciones y realizar los trabajos de impresión.

La documentación y el control de proceso en la flexografía ha permitido que se mejore drásticamente la calidad de los productos elaborados, por lo que se puede ofrecer un mejor producto a un excelente precio, el precio y la calidad de la flexografía han logrado que la industria de impresión considere que será el

---

<sup>4</sup> SALAS TOBAR, Byron. *Proceso de impresión flexográfica*. <http://flexografía.com>. [Consulta: 14 de febrero 2011].

sistema más utilizado en el futuro y también se invierta en el desarrollo y mejora del proceso. Con desarrollo tecnológico y mejoras en el control de proceso de impresión flexográfica se logrará que la flexografía sea el tipo de impresión más usado en el mundo.

## **2.2. Flexografía**

La flexografía es un proceso de impresión indirecto, que utiliza planchas en relieve que transfiere tinta al ser alimentada por un rodillo grabado llamado “anilox”, tiene micro celdas, las cuales transfieren la tinta a la plancha de impresión para que la plancha pueda transferirla a un sustrato.

“La Flexografía se desarrolló rápidamente en los últimos 20 años comenzando como un proceso de baja calidad hasta llegar al proceso intensivo de gráficos de primera calidad que conocemos hoy. Este avance ha sido alcanzado a través de perfeccionamientos en la prensa y en la plancha de impresión fotopolimérica, junto con perfeccionamientos paralelos en las tintas y en los sistemas anilox”<sup>5</sup>.

El método de impresión es una forma de impresión en relieve, las áreas de la imagen que están alzadas se entintan y son transferidas directamente al sustrato; se caracteriza por tener placas flexibles hechas de un hule o plástico suave y usar tintas de secado rápido y con base de agua. Las tintas para flexografía son particularmente aptas para imprimir en una gran variedad de materiales como acetato, poliéster, polietileno, papel periódico, entre otros. Por su versatilidad este método se utiliza mucho para envases.

---

<sup>5</sup> SALAS TOBAR, Byron. *Crecimiento del sector flexográfico a nivel mundial*. <http://flexografía.com>. [Consulta: 14 de febrero 2011].

La rápida conquista de espacio en el mercado de parte de la flexografía se debe a su adecuación y alineación con el mercado de empaques, en permanente cambio, por ejemplo, las corridas son más cortas, los gráficos están aumentando, la calidad es más alta y las restricciones ambientales y legislativas son mayores junto con las previsible presiones sobre costos.

Las principales ventajas que ofrece la flexografía en comparación con otros métodos de impresión están resumidas a continuación

- La flexografía puede ser utilizada en muchos tipos de substrato ya sea con superficie absorbente o con superficie no-absorbente.
- Esta puede producir corridas cortas con una buena relación costo/beneficio.
- Impresión rápida y precisa a la velocidad de 300 m/min (3,000 ft/min) o superior.
- Puede ser utilizada con una amplia variedad de tintas, incluyendo tintas de agua, de solvente y con cura UV.
- Las planchas de impresión en relieve tienen capacidad para corridas muy largas, hasta varios millones de impresiones.
- Las prensas flexográficas pueden imprimir con longitud de repetición de impresión variable.
- Películas extensibles, elásticas, pueden ser impresas sin pérdida de registro.

La operación en línea permite la impresión, corte y plegado y terminado en un proceso continuo, además, el capital invertido en prensas y costos

operacionales corrientes frecuentemente son más bajos para prensas flexográficas en comparación con offset y grabado.

Como el proceso flexográfico es idealmente apropiado para corridas más cortas y como los tiempos de cambio y ajuste son menores, los compradores de empaques en mercados globalizados están volcándose para la flexografía para imprimir/convertir localmente sus marcas globales.

### **2.2.1. Tintas para flexografía**

Las tintas que se usan para imprimir están formadas por un agente colorante, que puede ser un pigmento vegetal, mineral o sintético, en un medio o vehículo, que puede ser agua, aceite o barniz, y aditivos, que le dan la consistencia y características físicas adecuadas.

Las tintas se dividen, en primer lugar de acuerdo al proceso en el cual se usan y dentro de cada categoría se dividen de acuerdo a su color y calidad, las tintas también se clasifican de acuerdo a cómo se secan, porque ésta es una de sus propiedades más importantes.

Hay tintas que se secan por oxidación, por evaporación o por absorción, las tintas más modernas se secan al entrar en contacto con el papel; también hay tintas llamadas monoméricas que se secan cuando son expuestas a ciertas radiaciones como radiación ultravioleta o rayos gamma.

Hay tintas que se secan con el calor y otras que por el contrario, se calientan para imprimir y se secan al enfriarse; es importante que el tiempo de secado sea el suficiente para que las tintas no se corran o pinten las demás copias al ser apiladas (a esto se le llama repinte). La consistencia de la tinta

también es de gran importancia, tiene que tener el grado exacto de espesor y pegajosidad para que se adhiera al papel sin emplastarse.

Cuando se especifica los colores que va a llevar el impreso, se debe fijar en el número de tintas que va a requerir. Con los cuatro colores principales (CMYK) se puede obtener casi todos los tonos, pero a veces puede ser difícil obtener un tono muy exacto, como el de un logotipo; en tal caso se debe evaluar si nos conviene imprimir una tinta directa.

Las tintas directas están mezcladas exactamente, no formadas por la sobre imposición de puntos, por lo que dan el tono exacto deseado. Para especificar que tono se quiere, es necesario basarse en una guía predeterminada, como es la guía Pantone; también se usan tintas directas cuando se quiere lograr un efecto especial, tal como tinta metálica o fosforescente.

### **2.2.2. Fotopolímeros**

Los fotopolímeros son materiales plásticos sensibles a los rayos UV. Las planchas flexográficas de fotopolímeros se elaboran mediante un proceso foto directo usando exposición a radiación UV y para definir la imagen se usa una película negativo de alto contraste.

Se coloca el negativo sobre una hoja de fotopolímero y se expone a rayos UV, la película negativa funciona como una máscara, permitiendo que los rayos UV penetren sólo en las áreas de imagen. En las partes expuestas a la radiación UV, el fotopolímero se polimeriza, es decir, se endurece o se vuelve insoluble, mientras que el fotopolímero protegido de la radiación UV permanece sin curar.

Después de la exposición, se lava la plancha de fotopolímero con cepillos y un solvente para retirar el material no expuesto, el material curado queda como una imagen en alto relieve la cual forma la superficie de la plancha.

Como paso final, se deja secar la plancha de fotopolímero hasta que el solvente de lavado se separe por completo, éste proceso se puede hacer de forma natural o con un horno de secado.

“Las primeras planchas flexográficas fueron fabricadas de caucho, un material que se utiliza todavía para ciertas aplicaciones. Para producir una plancha de caucho primero hay que hacer un patrón de moldeo, o matriz. Esto puede ser un fotograbado de metal, un fotopolímero duro, o tipo metálico. Esta matriz se utiliza para crear un molde/matrix. El molde es la contraparte hembra del patrón de moldeo. Se coloca el molde y una hoja de caucho sin vulcanizar dentro de una máquina de moldeo y se hace un molde positivo de caucho, creando así la plancha de impresión flexográfica. Se puede repetir este proceso varias veces”<sup>6</sup>.

Las numerosas ventajas de los fotopolímeros en comparación con las planchas de caucho han revolucionado el mundo de la impresión flexográfica. La estabilidad dimensional, la elongación es mayor, pero es más fácil de anticipar o predecir, mayor uniformidad, el espesor es uniforme por lo que no es necesario rectificar la plancha mediante respaldo, mayor fidelidad de reproducción y el proceso foto directo reproduce el arte original con fidelidad y mayor duración.

---

<sup>6</sup> SALAS TOBAR, Byron. *Proceso de impresión flexográfica*. p. 1. [Consulta: 14 de febrero 2011].

### 2.3. Aplicaciones industriales de la flexografía

Los principales procesos de impresión dividen el mercado de impresión de empaques en las proporciones ilustradas en la figura 2. La tendencia continúa siendo de crecimiento para la flexografía en comparación con los otros procesos de impresión.

“Se estima que el mercado global de empaques sea de aproximadamente US\$90 mil millones en todo el mundo, con un crecimiento anual mundial de aproximadamente 6-10%”<sup>7</sup>.

La mayoría de las planchas para impresión flexográfica utilizadas en el final del siglo son láminas fotopoliméricas sólidas, con volúmenes aún substanciales de fotopolímero líquido y caucho, utilizados generalmente para impresión en corrugado en todo el mundo. Los principales segmentos del mercado hoy servidos por la impresión flexográfica están ilustrados más abajo.

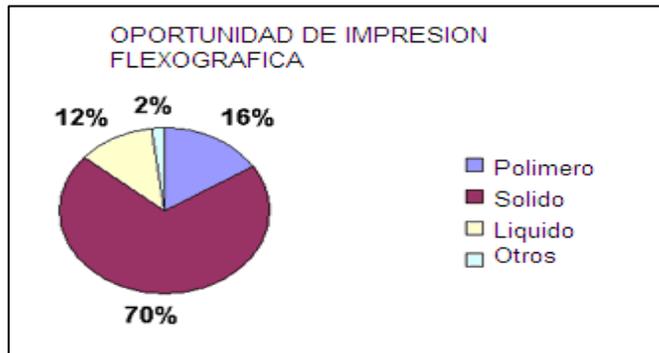
Figura 2. Oportunidad de empaques impresos



Fuente: Crecimiento del sector flexográfico a nivel mundial.  
<http://flexografia.com>. [Consulta: 14 de febrero 2011].

<sup>7</sup> SALAS TOBAR, Byron. *Crecimiento del sector flexográfico a nivel mundial*. p. 1. [Consulta: 14 de febrero 2011].

Figura 3. **Oportunidad de impresión flexográfica**



Fuente: Crecimiento del sector flexográfico a nivel mundial.  
<http://flexografia.com>. [Consulta: 14 de febrero 2011].

El crecimiento en flexografía ha sido particularmente sensible en los segmentos de cartón plegable y rótulos/etiquetas, en todo el mundo, en donde la instalación de prensas flexográficas para sustituir a las prensas tipográficas, más antiguas y offset ha sido evidente como se muestra en la tabla 1.

Tabla I. **Porcentaje de flexografía según segmento de impresos.**

Segmento	Parcela del Mercado de Impresión Flexográfica		
	1996	2000	2004
Bolsas de Papel	95%	95%	95%
Corrugado	75%	80%	80%
Empaques Flexibles	70%	75%	80%
Etiquetas	30%	35%	40%
Cartón Plegable	20%	30%	40%

Fuente. Crecimiento del sector flexográfico a nivel mundial.  
<http://flexografia.com>. [Consulta: 14 de febrero 2011].

## **2.4. Descripción del proceso de flexografía**

A continuación se describen los principales pasos a realizar en la elaboración de un producto impreso.

### **2.4.1. Preprensa**

El diseño debe asumir diversos comportamientos con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, el diseño es una combinación ordenada de elementos formales, los cuales producen una composición. Generalmente el diseño para impresión por flexografía se encuentra en una o más de las siguientes categorías: decoración, impacto visual, identificación o información.

Los colores deben de traslaparse para mantener el registro, es preferible utilizar colores similares y no colores complementarios debido a que los últimos pueden producir un tercer color en el área de traslape

### **2.4.2. Igualación de color**

En general, los fabricantes confían en el ojo humano para evaluar los colores, aún con los instrumentos sofisticados disponibles para medir color el color debe lucir atractivo al ojo humano; para el proceso de flexografía se combinan los colores a través de una guía predeterminada llamada Pantone.

“El hacer comparaciones de color es más una ciencia que un arte *R. H. Munsell* desarrolló un sistema de color hace varios años, identificó el color en término de tres atributos: tonalidad, luminosidad y saturación; tonalidad es el color que se ve, luminosidad es el grado de blancura u oscuridad de un color y

va desde el blanco hasta el negro, saturación es la intensidad o pureza de un color que va desde un gris hasta un color puro el cual determina el grado de limpieza”<sup>8</sup>.

### **2.4.3. Impresión**

Inicialmente se monta la plancha de fotopolímero en el rodillo impresor seleccionado tomando la precaución de no dejar burbujas en el cilindro impresor, luego se monta en la máquina el rodillo y se verifica que el estiramiento de la imagen sea el correcto, si es así se procede a imprimir la cantidad de producto deseado. Los cuatro colores de impresión CMYK se imprimen al mismo tiempo, por lo que es posible examinar el producto impreso final.

### **2.4.4. Estampado**

Existe la posibilidad de agregar a la impresión un acabado fino, el cual es un estampado en caliente con una película de diversos colores, éste se realiza antes de troquelar en producto; también puede tener cualquier forma deseada ya sean textos o parte de imágenes, que se puede arreglar con los diversos colores que existen.

### **2.4.5. Troquelado**

Las máquinas troqueladoras ejercen presión sobre el sustrato, ya sea este cartón o papel, dan la forma y definen las características del producto en proceso a través del uso de un molde de troquel en el cual están definidos los cortes y dobleces que lleva el producto.

---

<sup>8</sup> FUNDACIÓN PARA LAS ARTES GRÁFICAS. *Flexografía: principios y prácticas*. p. 119.

En flexografía, lo ideal es que el proceso se realice en línea con la impresión, pues ahorra tiempo, lo cual es una gran ventaja; sin embargo el proceso se puede realizar también posterior a la impresión con máquinas que pueden dar también otro tipo de acabados al producto impreso.

## **2.5. Principales variables que afectan el proceso de impresión flexográfica**

Las variables que afectan la impresión flexográfica se relacionan con las planchas, las tintas y el sustrato a imprimir.

### **2.5.1. Planchas de impresión**

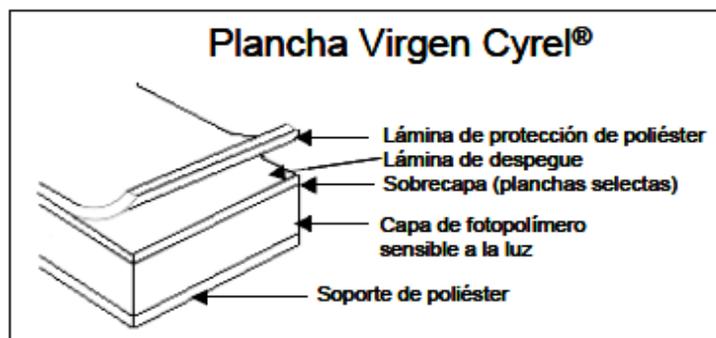
En el mercado se ofrece una gran variedad de planchas de impresión, para satisfacer la variada gama de necesidades y condiciones de impresión que se encuentran en la industria, actualmente existen planchas para diversas aplicaciones y la selección cuidadosa de la plancha es determinante para obtener un buen resultado final; la selección se realiza principalmente acorde al sustrato a imprimir y al lineaje que se desea en la impresión.

La obtención de una plancha preparada para impresión se realiza por diversos métodos, ya sea por exposición a distintos tipos de radiación como la radiación UV por ejemplo, aunque actualmente también existe la posibilidad de obtenerlas por medios digitales al ser expuestas a un láser, aunque el precio de esta última tecnología es elevado.

## 2.5.2. Estructura de la plancha

“La plancha flexográfica presenta una estructura que consiste en una capa de fotopolímero firmemente adherida a un soporte de poliéster. Una cubierta removible de Mylar protege la superficie de la capa de fotopolímero”<sup>9</sup>.

Figura 4. Plancha de fotopolímero virgen



Fuente: Manual de proceso y uso de planchas para la impresión flexográfica. p. 3.

“Este fotopolímero contiene un aglutinante elastomérico y compuestos que son responsables por la polimerización que ocurre cuando el fotopolímero es expuesto a la luz ultravioleta”<sup>10</sup>.

La cubierta de Mylar protege la superficie de la plancha contra cualquier daño físico y contra los efectos desensibilizantes del oxígeno.

<sup>9</sup> DUPONT. *Manual de proceso y uso de planchas fotopoliméricas para la impresión flexográfica*. p. 3.

<sup>10</sup> *Ibíd.*, p.3.

## **2.6. Procesadora Kelleight 213**

La procesadora Kelleight 213 consta principalmente de tres partes: cámara de exposición, cámara de lavado y cámara de secado. En la cámara de exposición se tienen un set de lámparas de radiación UV las que funcionan con un temporizador, en la parte inferior de la cámara está el soporte o base donde se coloca el fotopolímero con el negativo a exponer y también se tiene un sistema de vacío que se encarga de mantener fijo el negativo a la plancha de fotopolímero para que no existan filtraciones de radiación, en esta cámara se expone tanto la parte dorsal como la parte frontal del fotopolímero.

La cámara de lavado consta de un rodillo donde se fija la plancha para que al rotar el rodillo, la plancha frote contra un cepillo que ayudará junto con el solvente a eliminar todas las partes del fotopolímero que no fueron expuestas, las partes que fueron expuestas quedarán sólidas aunque absorberán parte del solvente y quedarán sin forma.

Para llevar la plancha de fotopolímero a la forma deseada tiene que pasar por la cámara de secado del horno, el cual cumple con la función de eliminar el solvente de la plancha del fotopolímero.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño de la metodología del experimento se basa en las propiedades de la plancha de impresión.

#### 3.1. Variables

Las variables a las que está sujeto el proceso son:

- Tiempo de exposición dorsal de la plancha (fija el grosor del “piso” de la plancha).
- Tiempo de exposición frontal de la plancha (fija la profundidad del curado del fotopolímero, el cual debe llegar al piso de la plancha).

Tabla II. **Matriz de variables**

Unidad de análisis	Variables	Valores	Indicadores
Plancha de fotopolímero	Tiempo de exposición Dorsal	A determinar	Altura curada de fotopolímero
	Tiempo de exposición Frontal	A determinar	Fijación de punto de impresión
			Ganancia de punto.

Fuente: elaboración propia.

### **3.1.1. Exposición dorsal de la plancha**

La exposición por el dorso se hace a través de la base de poliéster y antes de la exposición principal. El tiempo exacto de la exposición se determina de antemano por medio de una prueba y la altura aproximada de dorso deseado para una plancha de 67 milésimas de pulgada es de 40 milésimas de pulgada.

### **3.1.2. Exposición frontal de la plancha.**

La exposición frontal de la plancha se hace a través de unos negativos fotográficos y forma la imagen impresa, el fotopolímero expuesto se vuelve insoluble debido a la reacción de polimerización iniciada por la radiación ultravioleta. El tiempo de exposición depende de varios factores; el detalle de la imagen, el relieve de la plancha, el tiempo de exposición para el dorso y la intensidad de la radiación, entre los más importantes.

Para el detalle de la imagen, el tiempo de exposición estándar mantiene los siguientes detalles en la imagen con una única exposición; línea de 4 milésimas, punto de 4 milésimas de diámetro, tipo de 2 puntos, puntos de 5 % a 95 %. Se pueden mantener líneas y puntos aún más finos al ajustar los tiempos de exposición principal y exposición por el dorso; mayores tiempos de exposición han de resultar en relleno progresivo de las áreas de la imagen del reverso; es necesario tener cuidado y obtener tiempos de exposición óptimos para combinaciones de trazador y detalles de imágenes de reverso.

Para el relieve de la plancha se recomienda que los tiempos de exposición se basen en un relieve de 25 a 35 milésimas de pulgada para planchas delgadas y de hasta 125 milésimas para planchas de mayor espesor.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

El estudio a realizarse es para una plancha de fotopolímero Cyrel PLS.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Para la realización del estudio se contará con la colaboración del fotomecánico de pre prensa de la empresa Flexografía, además del investigador que propuso el estudio.

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

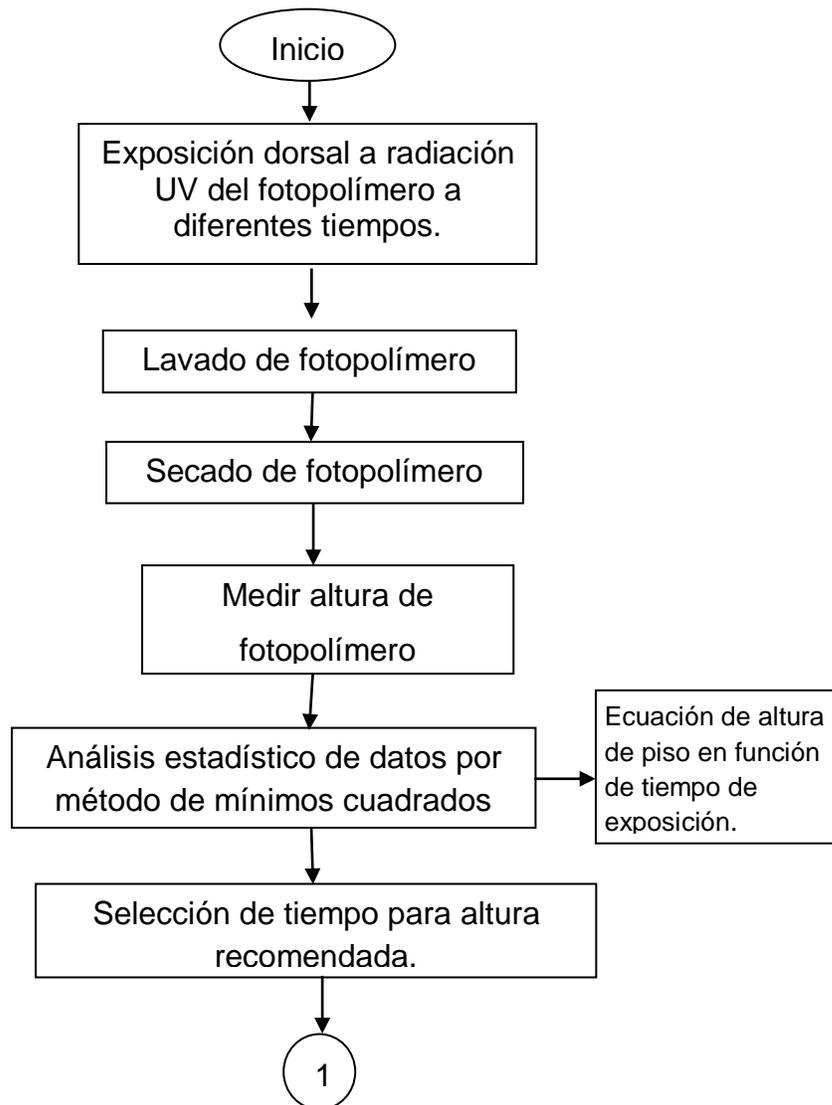
Los materiales se listan a continuación

- Fotopolímero
- Procesadora de fotopolímero
- Soluciones de lavado
- Negativos de prueba
- Lente cuenta hilos
- Micrómetro
- Tipómetro
- Cuchilla
- Papel mascarilla
- Computadora
- Papel y lápiz

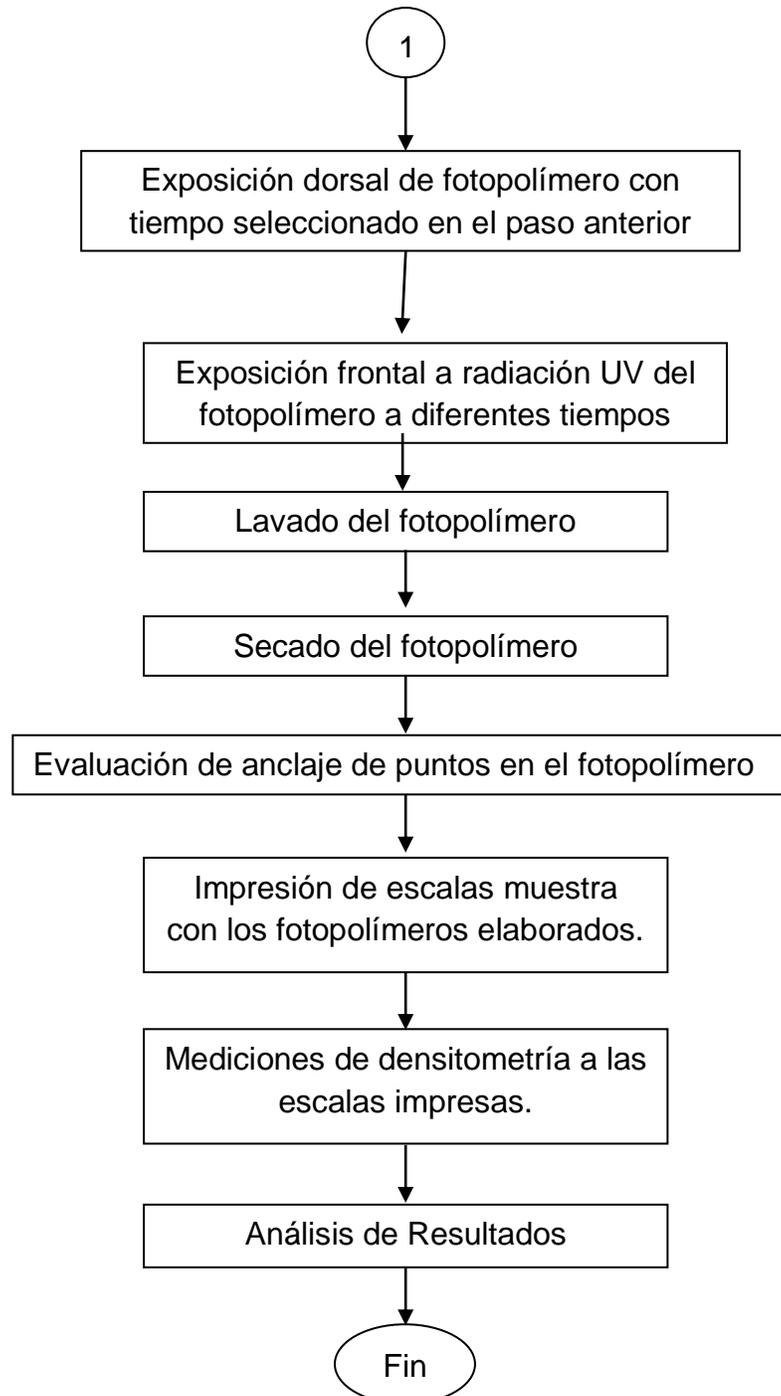
### 3.5. Recolección y ordenamiento de la información

Los pasos a seguir se muestran según el siguiente diagrama de flujo

Figura 5. **Flujograma de la recolección y ordenamiento de información**



Continuación figura 5.



Fuente: elaboración propia.

El problema a resolver requiere que se hagan corridas experimentales para hacer un levantado de datos que permitan obtener los tiempos estándar para la producción de planchas de fotopolímero. Esto se describirá para cada variable.

### **3.5.1. Procedimiento para determinar el tiempo de exposición dorsal de la plancha**

El tiempo de exposición dorsal a radiación UV con  $\lambda = 320$  nm determina el grosor del piso de la plancha flexo. Para ellos se hará el siguiente experimento;

- Tomar cinco cortes distintos de fotopolímero, y cada uno de ellos exponerlo a un tiempo determinado. Los tiempos a usar son treinta, sesenta, noventa, ciento veinte y ciento cincuenta segundos.
- Lavar las planchas con solvente en la unidad de lavado de la procesadora durante dos horas, este tiempo excesivo de lavado garantizará que no quedará fotopolímero sin curar en las planchas.
- Secar las planchas durante cinco horas en la unidad de secado.
- Medir los grosores de piso obtenidos.
- Repetir los pasos anteriores cuatro veces más.
- Elaborar gráfica de tiempo versus grosor de piso de la plancha.
- Elegir el tiempo de exposición del dorso del fotopolímero para una altura aproximada de un mm.

### **3.5.2. Procedimiento para seleccionar tiempos de exposición frontal de la plancha por medio de un panel evaluador**

El tiempo de exposición frontal a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm determina la fijación de la imagen al piso de la plancha flexográfica. Para determinarlo se realizó el siguiente experimento.

- Exponer al dorso según tiempo y grosor elegido en experimento anterior.
- Tomar 5 cortes distintos de fotopolímero, y cada uno de ellos exponerlo a un tiempo determinado. Los tiempos a usar son seis, ocho, diez, doce y catorce minutos.
- Lavar las planchas con solvente en la unidad de lavado de la procesadora durante dos horas. Este tiempo excesivo de lavado garantizará que no quedará fotopolímero sin curar en las planchas.
- Secar las planchas durante cinco horas en la unidad de secado.
- Repetir todos los pasos anteriores cuatro veces más.
- Realizar un panel de evaluación de las planchas resultantes.
- Escoger el tiempo para el cual la imagen tenga la menor distorsión.

### **3.5.3. Procedimiento para determinar el tiempo de exposición frontal por medio de mediciones densitométricas**

Para la impresión de las escalas se utilizará tinta magenta de la marca XSYS, se utilizara sustrato estucado brillante y se realizará según el siguiente procedimiento;

- Ajustar presión de máquina de impresión a valor medio tomando en cuenta que se presentarán sólidos y pantallas.
- Entintar máquina de impresión con tinta magenta, verificar que la densidad sea adecuada según las condiciones en la sala de impresión y según el tipo de sustrato a utilizar.
- Ajustar dosificador de tinta en punto medio y montar la plancha de fotopolímero escogida en el paso anterior.
- Montar la plancha de fotopolímero escogida en el paso anterior.
- Realizar impresión de cincuenta repeticiones.
- Dejar secar por cinco minutos y tomar cinco muestras de la tira impresa de la parte final teniendo el cuidado que estén secas para no dañar la impresión.
- Realizar medidas de ganancia de punto en los parches.
- Repetir los pasos anteriores con la otra plancha de fotopolímero.

### 3.6. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información obtenida en la parte experimental se someterá a diversos análisis para su posterior validación.

#### 3.6.1. Alturas dorsales de fotopolímero obtenidas para diferentes tiempos de exposición dorsal a radiación UV con $\lambda= 320$ nm.

Luego de realizar el procedimiento de exposición dorsal a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm. para diferentes tiempos, se obtuvieron los siguientes datos de altura de fotopolímero los cuales fueron medidos con un micrómetro digital con una incerteza de  $\pm 0.5$  milímetros.

Tabla III. **Altura dorsal de fotopolímero para diferentes tiempos de exposición radiación UV con  $\lambda=320$  nm**

Tiempo (segundos)	Altura Dorsal					$\bar{X}$	$\pm \sigma^2$
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5		
30	0.50	0.52	0.52	0.53	0.53	0.52	0.00015
60	0.71	0.72	0.72	0.71	0.71	0.714	3E-05
90	0.86	0.87	0.86	0.87	0.85	0.862	7E-05
120	1.02	1.02	1.01	1.02	1.01	1.016	3E-05
150	1.19	1.20	1.20	1.19	1.19	1.194	3E-05

Fuente: elaboración propia.

**3.6.2. Evaluación realizada por un panel experto del anclaje de punto para diferentes tiempos de exposición a radiación UV con  $\lambda = 320$  nm fotopolímero de 1.02 mm de espesor dorsal.**

El panel realizó la evaluación de la fijación de punto en el fotopolímero con 1 mm de espesor dorsal para diferentes tiempos de exposición frontal obteniendo los datos mostrados en la tabla IV.

**Tabla IV. Evaluación de anclaje de punto para diferentes tiempos de exposición frontal a radiación UV con  $\lambda=320$  nm**

Tempos (minutos)	Fijación de área de imagen					$\bar{X}$	$\pm \sigma^2$
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5		
6	1	1	1	1	1	1	0
8	1	1	1	1	1	1	0
10	2	2	2	2	2	2	0
12	3	3	3	3	3	3	0
14	4	4	4	4	4	4	0

0: No hubo fijación. 1: Fijación menor a la escala. 2: Fijación Adecuada.

3: Fijación mayor a la escala 4: Fijación excesiva.

Fuente: boletas de panel evaluador.

**3.6.3. Mediciones densitométricas realizadas al impreso con fotopolímero con espesor dorsal de 1.02 mm de pulgada de pulgada para tiempo de exposición frontal a radiación UV con  $\lambda = 320$  nm de 10 minutos.**

Luego de realizar la impresión con el fotopolímero elaborado con espesor dorsal de 1 mm de pulgada y 10 minutos de exposición frontal se obtuvieron los datos mostrados en la tabla V, siendo el criterio de aceptabilidad los valores de la norma ISO 12647-6 las cuales indican valores de ganancia de punto de 14 % para una pantalla de 40 % y de 8 % para una pantalla de 80 % con una tolerancia de  $\pm 2$  %. La medición se realizará con un espectrofotómetro

**Tabla V. Evaluación de ganancia de punto impreso realizado con fotopolímero con 1.02 mm de pulgada de espesor dorsal y 10 minutos de exposición frontal a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm**

% pantalla	Porcentaje de ganancia de punto						
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	$\bar{X}$	$\pm \sigma^2$
40	12	13	12	13	11	12.2	0.7
80	7	6	6	7	7	6.6	0.3

Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Análisis estadístico

Los datos experimentales obtenidos son validados por métodos estadísticos.

#### 3.7.1. Altura dorsal en función del tiempo de exposición a radiación UV con $\lambda= 320 \text{ nm}$

Los datos obtenidos se analizaron con herramientas de paquetes de computación que realizan diferentes tipos de análisis, para los datos de altura dorsal de fotopolímero se realizó el análisis estadístico por el método de mínimos cuadrados que mostro la siguiente relación:

$$\text{Altura dorsal (mm)} = 0.0055 * \text{tiempo de exposición (s)} + 0.3662 \pm 0.01$$

El análisis de mínimos cuadrados presenta el coeficiente de correlación de 0.998749. También se realizó un análisis de varianza a los datos obteniendo los resultados mostrados en la tabla VI.

Tabla VI. **ANOVA de datos obtenidos de altura dorsal para diferentes tiempos de exposición a radiación UV con  $\lambda= 320 \text{ nm}$**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Varianza</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	0.000344	4	8.6E-05	0.00126015	0.99999651	2.866081
Dentro de grupos	1.36492	20	0.068246			
Total	1.365264	24				

Fuente: elaboración propia.

**3.7.2. Tiempo de exposición frontal a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm para un fotopolímero con altura dorsal de 1.02 mm.**

Con los datos obtenidos en el panel de evaluación se realizó un análisis de varianza obteniendo los resultados mostrados en la tabla VII.

Tabla VII. **ANOVA de datos obtenidos de altura dorsal para diferentes tiempos de exposición a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Varianza</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	7.105E-15	4	1.776E-15	1.045E-15	1	2.8660814
Dentro de grupos	34	20	1.7			
Total	34	24				

Fuente: elaboración propia.

**3.7.3. Evaluación de ganancia de punto impreso realizado con fotopolímero con 1.02 mm de espesor dorsal y 10 minutos de exposición frontal a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm.**

Con los valores obtenidos de ganancia de punto se realizó un análisis de varianza y se obtuvieron los datos presentados en la tabla VIII.

Tabla VIII. **ANOVA de ganancia de punto para un impreso elaborado con los tiempos de exposición óptimos obtenidos.**

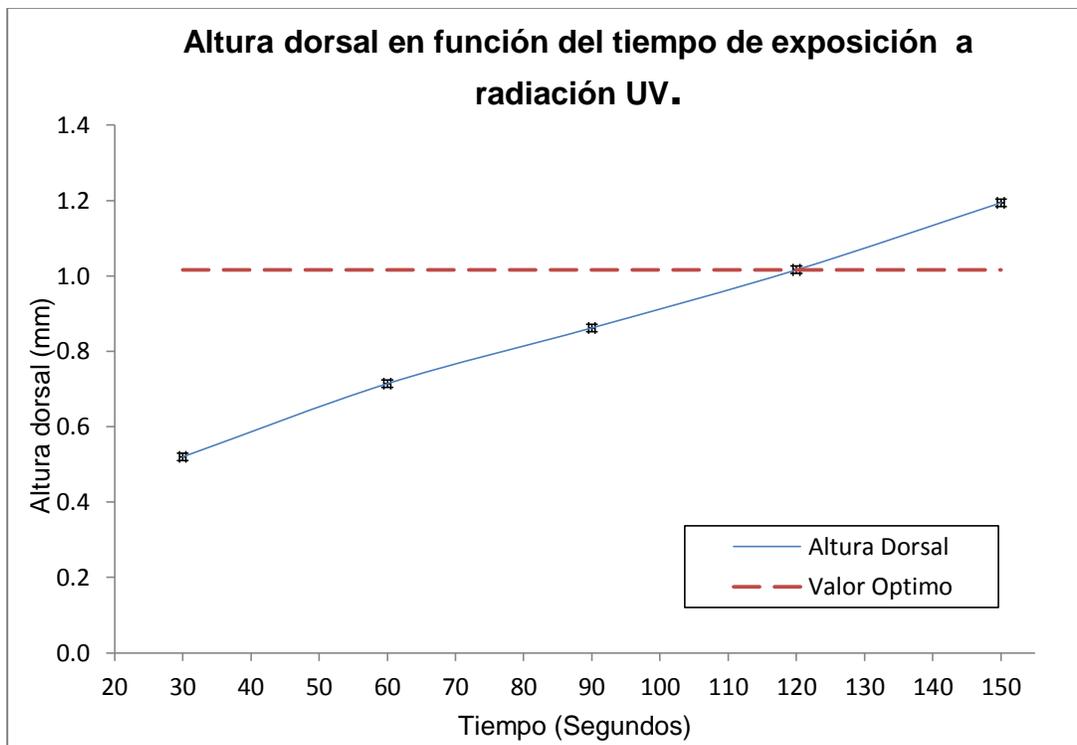
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Varianza</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F crit</i>
Entre grupos	7.105E-15	4	1.776E-15	1.045E-15	1	2.8660814
Dentro de grupos	34	20	1.7			
Total	34	24				

Fuente: elaboración propia.

## 4. RESULTADOS

- La altura dorsal obtenida en función del tiempo de exposición a radiación UV con  $\lambda = 320 \text{ nm}$  se muestra en la figura 6:

Figura 6. **Altura dorsal en función del tiempo de exposición a radiación UV.**



Fuente: elaboración propia.

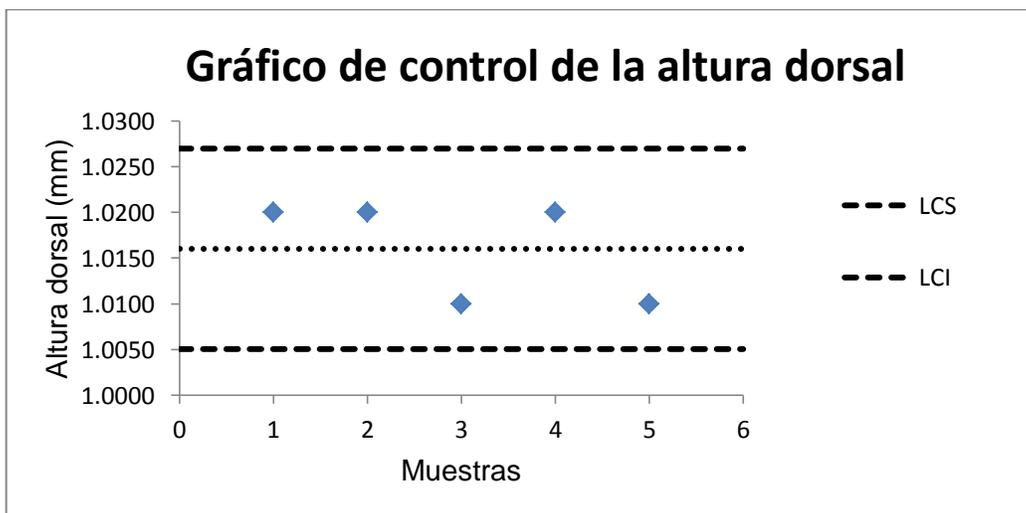
- La relación entre la altura dorsal de fotopolímero y el tiempo de exposición dorsal a radiación UV con  $\lambda=320$  nm tiene un comportamiento lineal como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\text{Altura dorsal (mm)} = 0.0055 * \text{tiempo de exposición (s)} + 0.3662$$

Con un coeficiente de correlación  $R = 0.9989$

- Para obtener la altura óptima de espesor dorsal de fotopolímero de 1.016 mm es necesario usar un tiempo de exposición a radiación UV con  $\lambda = 320$  nm de 120 segundos, las alturas obtenidas se muestran en el siguiente gráfico con límites de control de  $2\sigma$ .

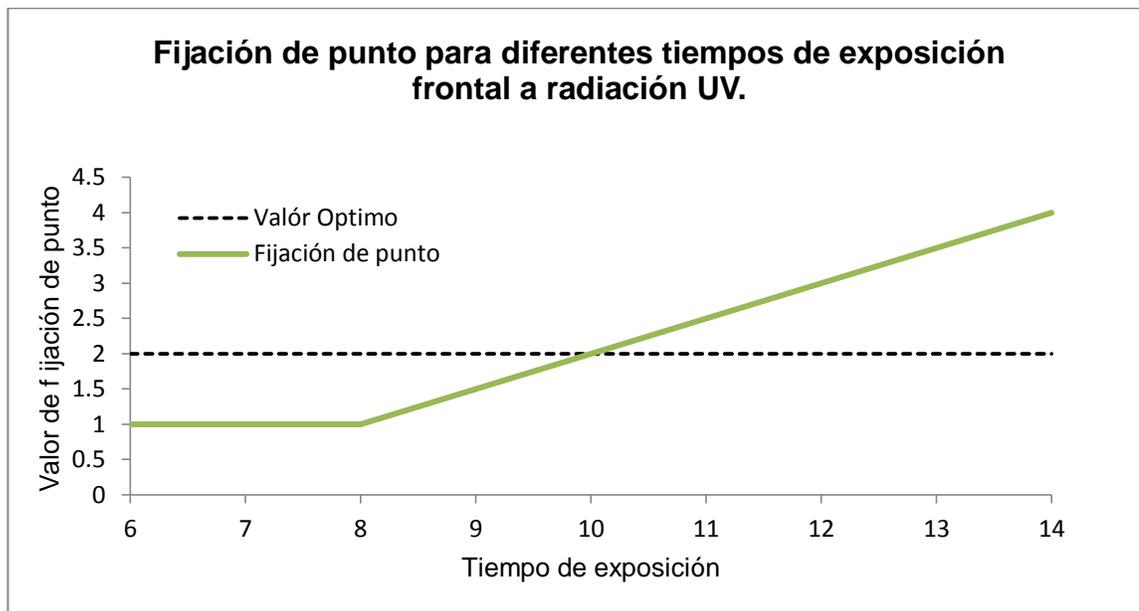
Figura 7. **Altura dorsal de muestras de fotopolímero expuestas 120 segundos a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm**



Fuente: elaboración propia.

- El tiempo óptimo de exposición frontal determinado en el panel de evaluación es de 10 minutos, en la figura 8 se muestra el comportamiento de la fijación de punto para los diferentes tiempos de exposición a radiación UV con  $\lambda=30$  nm.

Figura 8. **Fijación de punto de impresión para diferentes tiempos de exposición frontal a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm**



Fuente: elaboración propia.

- Los Valores de ganancia de punto de los impresos realizados con las planchas de fotopolímero elaboradas con los tiempos óptimos de exposición a radiación UV se muestran en la tabla IX.

Tabla IX. **Ganancia de punto para impresos realizados con las planchas de fotopolímero elaboradas con los tiempos óptimos obtenidos de exposición a radiación UV con  $\lambda= 320$  nm**

% pantalla	Porcentaje de ganancia de punto							
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	$\bar{X}$	$\pm \sigma^2$	Estándar
40	12	13	12	13	11	12.2	0.7	14
80	7	6	6	7	7	6.6	0.3	8

Fuente: elaboración propia.

- Ganancia de punto de pantalla de 40%: GP = 12.2
- Ganancia de punto de pantalla de 80%: GP = 6.6

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La investigación realizada, ha permitido evaluar las variables para la elaboración de planchas de fotopolímero y obtener planchas con lineaje de 120 líneas por pulgada lineal.

Para elaborar una plancha de fotopolímero de impresión se expuso el fotopolímero virgen en dos etapas, la primera es la exposición dorsal a radiación UV con  $\lambda = 320$  nm. (ésta radiación es conocida también como radiación ultravioleta de alta densidad con la abreviatura UVa), con lo que se obtiene el soporte del fotopolímero y luego se expone la parte del frontal del fotopolímero a radiación UV con  $\lambda = 320$  nm para obtener la imagen a imprimir. El tiempo de exposición del material a la radiación UV, determinará las cualidades que el fotopolímero tenga.

El fotopolímero utilizado en la investigación tiene un espesor total de 1.7 milímetros, según las especificaciones de fábrica el soporte del fotopolímero de impresión debe tener una altura de 1.016 milímetros, el tiempo de exposición a radiación UV necesario para obtener esta altura de soporte de fotopolímero fue la primera variable de estudio en la investigación. Para determinar este tiempo se expuso fotopolímero virgen a radiación UV en cinco diferentes tiempos para luego medir la altura obtenida en cada una de las exposiciones y así obtener un modelo matemático que relacionara la altura de la base obtenida en función del tiempo de exposición a radiación UV.

El resultado obtenido es la relación mostrada en la ecuación:

$$\text{Altura dorsal (mm)} = 0.0055 * \text{ tiempo de exposición (s)} + 0.3662$$

Con los datos obtenidos se logró determinar por análisis de mínimos cuadrados que la relación que guardan estas dos variables es lineal, dando su coeficiente de correlación un valor de 0.9989, que comprueba el comportamiento de éstas dos variables.

A los datos obtenidos se les realizó también un análisis de varianza para determinar si existía algún o algunos grupos de datos difieran significativamente del resto, el resultado muestra un valor de F de 0.0012 y un F crítico de 2.87, al ser el valor de F menor que el valor crítico se establece que no existen diferencias significativas entre las medias de las muestras analizadas por lo que todos los grupos de datos son válidos para realizar el análisis estadístico.

Luego de asegurarse que los valores obtenidos en las diferentes mediciones son válidos, se determinó el tiempo de exposición a radiación UV para la obtención del espesor dorsal óptimo, de la ecuación anterior se obtiene que el tiempo es de 120 segundos, este valor es la base para continuar con el estudio, ya que tomando el espesor de base óptimo se continúa buscando el tiempo de exposición frontal óptimo.

La segunda parte de la investigación buscó determinar el tiempo necesario a exposición a radiación UV con  $\lambda = 320$  nm. de la parte frontal del fotopolímero que permitiera la obtención de imagen y un correcto anclaje de porcentajes de pantalla en un rango de 5% a 95 %.

La parte frontal del fotopolímero virgen se expuso a radiación UV, con una película negativa que contiene varios porcentajes de pantalla para luego evaluar el anclaje de puntos de cada uno de los porcentajes, esta evaluación es realizada con un panel formado por 5 personas con alto conocimiento de impresión y fotopolímeros. Con la colaboración de este panel se logró determinar si los fotopolímeros elaborados están dentro de un rango de aceptabilidad por medio de una comparación con porcentajes de pantalla de una película estándar.

Para determinar el tiempo de exposición frontal se realizó el procedimiento de exposición frontal en tiempos de 6, 8, 10, 12 y 14 minutos, luego de la evaluación por el panel experto se tabularon los datos para identificar el comportamiento de los fotopolímeros elaborados y se consiguió determinar que el tiempo de exposición óptimo es de 10 minutos, ya que este muestra un valor de anclaje aceptable al ser comparado con una tira estándar.

A los datos obtenidos en el panel de evaluación, se les realizó también un análisis de varianza para ver si existía alguna diferencia entre algún grupo de datos obtenidos, dando como resultado un valor F de  $1.05 \times 10^{-15}$  y un F crítico de 2.87, valores que indican que no existe diferencia significativa en las medias de los diferentes grupos de datos obtenidos.

Como paso final se realizan pruebas a impresos obtenidos con el fotopolímero elaborado con los tiempos de exposición a radiación UV óptimos seleccionados tanto de frente como de dorso para evaluar la ganancia de punto del impreso. La ganancia de punto tiene valores establecidos por la norma internacional ISO 12647-6 la cual indica una ganancia de punto de 14% para una pantalla del 40 % y una ganancia del 8 % para una pantalla de 80 % con una tolerancia de  $\pm 2$  %.

Las mediciones realizadas a las tiras impresas, muestran que las mediciones de ganancia de punto a las tiras impresas están dentro de los rangos de aceptabilidad, ya que para una pantalla del 40 % el valor máximo permitido es de 14% y el promedio de las mediciones realizadas a las tiras impresas fue del 12.2 %, mientras que para una pantalla del 80 % con un máximo permitido del 8 %, el promedio de las mediciones fue de 6.6 %.

A estos datos también se les realizó el análisis de varianza para determinar si los datos no mostraban diferencias significativas entre sí, dando como resultado un F de 0.021 y un F crítico de 5.19 por lo que se descarta que existan diferencias significativas en los diferentes grupos de datos obtenidos.

Al finalizar el experimento se establecieron los tiempos óptimos de exposición dorsal y frontal con los que se consiguió elaborar una plancha de impresión flexográfica para realizar impresos que cumplen con los estándares de impresión establecidos en la industria.

## CONCLUSIONES

1. Se obtuvo un valor óptimo de espesor dorsal, el cual fue 1.02 mm para una plancha de impresión fotopolimérica.
2. La altura dorsal de fotopolímero es directamente proporcional al tiempo de exposición a radiación UV.
3. La fijación de punto de impresión en la parte frontal de un fotopolímero con espesor dorsal de 1 mm se obtuvo al exponer la parte frontal a radiación UV durante 10 minutos.
4. Fue efectiva la evaluación mediante la aplicación de la tabla discrecional propuesta para la selección del tiempo de exposición frontal.
5. El anclaje de punto de impresión en un fotopolímero elaborado para impresión a 120 LPI, usando el tiempo óptimo de exposición dorsal de 120 segundos y el tiempo óptimo de exposición frontal de 10 minutos; permitió la impresión de imágenes aceptables según criterios de densitometría.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar los tiempos de exposición obtenidos para la elaboración de planchas en todos los trabajos a realizar, independientemente si éstos son colores sólidos, colores con pantalla o mixtos.
2. Realizar un estudio sobre trazabilidad de los instrumentos de medición, con el fin de tener una incertidumbre en la medición de los resultados.
3. Mejorar la evaluación sensorial para aumentar la certeza en la selección del tiempo óptimo de exposición frontal.
4. Evaluar procedimientos alternativos a la medición de densitometría para la evaluación de impresos.
5. Desarrollar una política de capacitación para el personal evaluador y así mejorar la certeza en las evaluaciones sensoriales realizadas.
6. Impulsar el intercambio de información sobre tiempos de exposición, óptimos para mejorar y respaldar los resultados obtenidos.



## BIBLIOGRAFIA

1. AUSTIN, George T. *Manual de procesos químicos en la industria*. 5a ed. México: McGraw-Hill, 1995. 380 p.
2. DUPONT. *Manual de proceso y uso de planchas fotopoliméricas para la impresión flexográfica*. Estados Unidos: Editorial Dupont, 1990. 112 p.
3. FUNDACIÓN PARA LAS ARTES GRÁFICAS. *Flexografía: principios y prácticas*. 4ª ed. Estados Unidos: FATF, 1991. 619 p.
4. SALAS TOBAR, Byron. *Crecimiento del sector flexo a nivel mundial [en línea]*. España: Flexografia.com [ref. 14 de febrero 2011] Disponible en web: <[www.flexografia.com/modules.php?name=Content&p=showpagepid=28](http://www.flexografia.com/modules.php?name=Content&p=showpagepid=28)>.
5. SALAS TOBAR, Byron. *Proceso de impresión flexográfica [en línea]*. España: Flexografia.com [ref. 14 de febrero 2011] Disponible en web: <[www.flexografia.com/modules.php?Name=Content&pa=showpag&pid=26](http://www.flexografia.com/modules.php?Name=Content&pa=showpag&pid=26)>.
6. TUCUBAL PÉREZ, Mario Alberto. Implementación de un sistema de calidad en la impresión de empaques flexibles en la industria flexográfica. Trabajo de graduación Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos, 2004. 147 p.



## APÉNDICE 1. BOLETAS DE PANEL DE EVALUACIÓN

Los resultados del panel de evaluación se muestran en la siguientes boletas.

Boleta 1.

Tempos (minutos)	Fijación de área de imagen				
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5
6	1	1	1	1	1
8	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2
12	3	3	3	3	3
14	4	4	4	4	4

Fuente: elaboración propia.

Boleta 2.

Tempos (minutos)	Fijación de área de imagen				
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5
6	1	1	1	1	1
8	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2
12	3	3	3	3	3
14	4	4	4	4	4

Fuente: elaboración propia.

Boleta 3.

Tempos (minutos)	Fijación de área de imagen				
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5
6	1	1	1	1	1
8	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2
12	3	3	3	3	3
14	4	4	4	4	4

Fuente: elaboración propia.

Boleta 4.

Tempos (minutos)	Fijación de área de imagen				
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5
6	1	1	1	1	1
8	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2
12	3	3	3	3	3
14	4	4	4	4	4

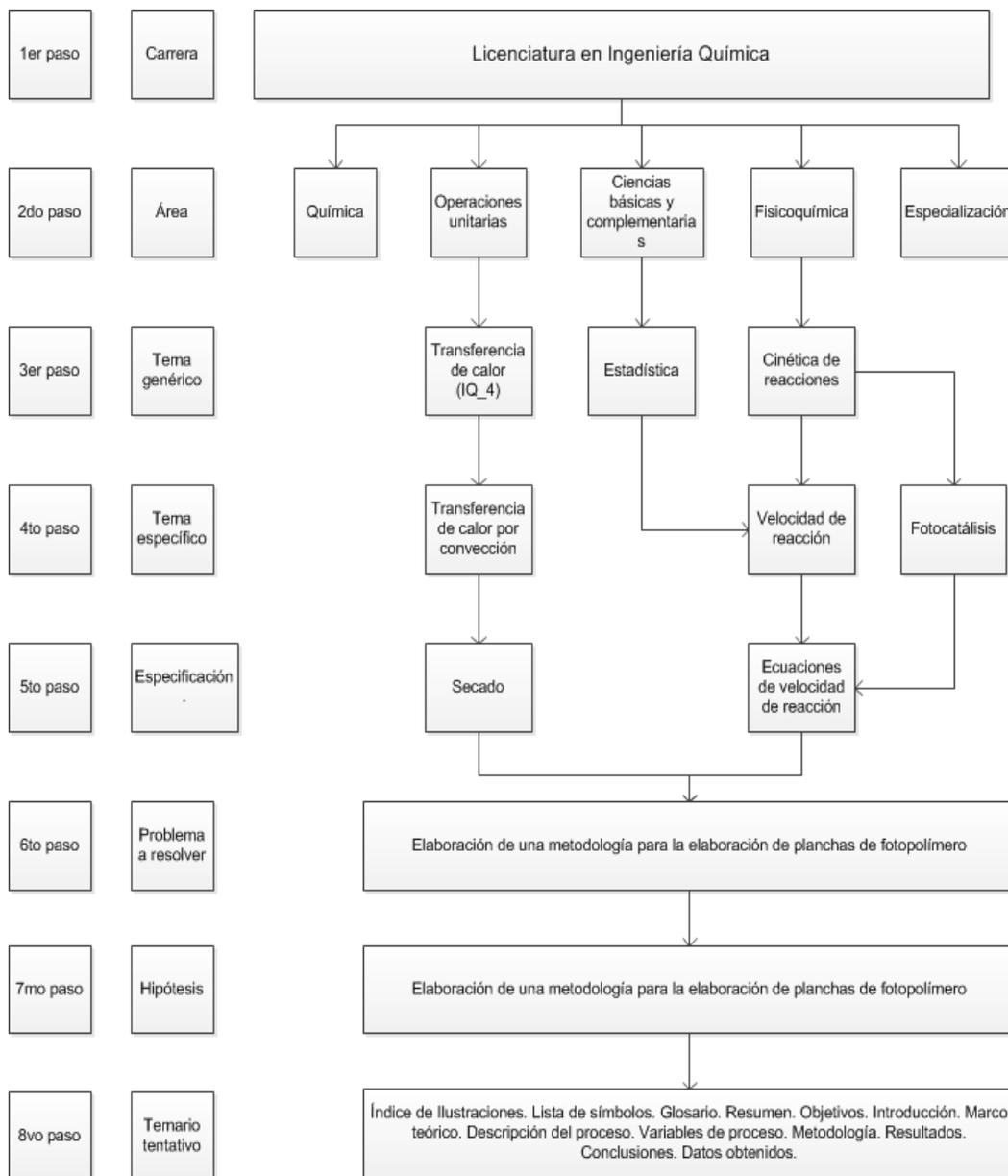
Fuente: elaboración propia.

Boleta 5.

Tempos (minutos)	Fijación de área de imagen				
	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5
6	1	1	1	1	1
8	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2
12	3	3	3	3	3
14	4	4	4	4	4

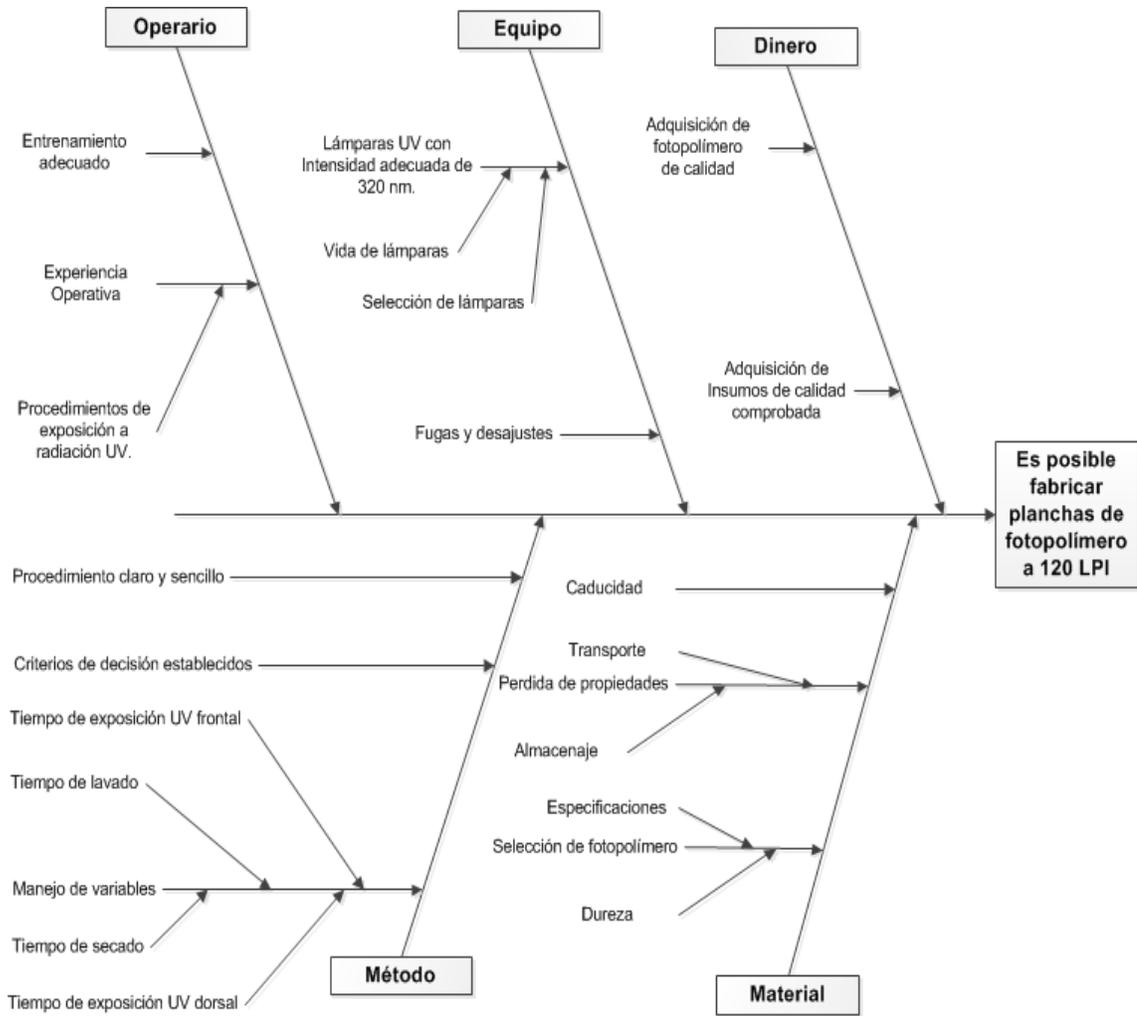
Fuente: elaboración propia.

## APÉNDICE 2. TABLA DE REQUISITOS ACADÉMICOS



Fuente: elaboración propia.

### APÉNDICE 3. DIAGRAMA DE ISHIKAWA



Fuente: elaboración propia.