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

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI), PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE, APLICÁNDOLO EN LA IMPRESIÓN DE EMPAQUE DE POLIETILENO PARA AZÚCAR

Mónica María del Rosario Ávila Mendizábal
Asesorado por la Inga. Leslie Mariana Flores Barrios

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI), PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE, APLICÁNDOLO EN LA IMPRESIÓN DE EMPAQUE DE POLIETILENO PARA AZÚCAR

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MÓNICA MARÍA DEL ROSARIO ÁVILA MENDIZÁBAL
ASESORADO POR LA INGA. LESLIE MARIANA FLORES BARRIOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibañez
EXAMINADORA	Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADORA	Inga. María Alejandra Má Villatoro
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI), PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE, APLICÁNDOLO EN LA IMPRESIÓN DE EMPAQUE DE POLIETILENO PARA AZÚCAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 28 de noviembre de 2013.

Mónica María del Rosario Ávila Mendizábal

Guatemala, Octubre de 2014

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director

Escuela de Ingeniería Química

Estimado Ing. Monzón:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el Informe Final de Trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI), PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE, APLICÁNDOLO EN LA IMPRESIÓN DE EMPAQUE DE POLIETILENO PARA AZÚCAR.** Desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Mónica María Ávila Mendizábal, carné No. 2006-11424.

Por lo cual, después de haber realizado la revisión del respectivo Informe Final y haber hecho las correcciones pertinentes, considero llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

Inga. Leslie Mariana Flores Barrios

Colegiado Activo No. 1461

Inga. Leslie Marian Flores Barrios
Colegiado Activo No. 1461

Guatemala, 20 de noviembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.063.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **184-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Mónica María del Rosario Ávila Mendizábal.**
Identificada con número de carné: **2006-11424.**
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI), PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE, APLICÁNDOLO EN LA IMPRESIÓN DE EMPAQUE DE POLIETILENO PARA AZÚCAR

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Leslie Mariana Flores Barrios.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Gerardo Ordoñez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA
AREA TRABAJOS DE GRADUACION
FIUSAC

C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.014.2015

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 de la estudiante, **MÓNICA MARÍA DEL ROSARIO ÁVILA MENDIZÁBAL** titulado: "**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI), PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE, APLICÁNDOLO EN LA IMPRESIÓN DE EMPAQUE DE POLIETILENO PARA AZÚCAR**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERÍA QUÍMICA
U.S.A.C.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale

DTG. 044.2015

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: **DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA MEDICIÓN DE LOS PRINCIPALES INDICADORES DE DESEMPEÑO (KPI), PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL PROCESO DE IMPRESIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE, APLICÁNDOLO EN LA IMPRESIÓN DE EMPAQUE DE POLIETILENO PARA AZÚCAR,** presentado por la estudiante universitaria **Mónica María del Rosario Ávila Mendizábal,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 5 de febrero de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi fortaleza, mi roca fuerte. El que me ha dado sabiduría, gracia y favor.
Mis padres	Roberto Ávila y Lesbia Mendizábal, por apoyarme, aconsejarme y orientarme en toda mi vida. Los amo.
Mis padres espirituales	César Sánchez, Desiré Sánchez, por acercarme a Dios en momentos de prueba y hacerme entender que en Dios todo es posible.
Mis hermanos	Lesbia Ávila, Silvia Ávila, Claudia Ávila y Luis Roberto Roldán, por apoyarme en este proceso y creer en mí.
Mariana Flores	Por su disponibilidad y apoyo incondicional.
Mynor Guerra	Mi novio y mejor amigo, por creer en mí y estar allí en todo momento.
Hermanos en Cristo	Ashley Sánchez, Manuel Córdova, Elsy Pérez e Isa Cáceres, por apoyo incondicional y palabras de exhortación y ánimo.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una casa de estudios dispuesta a la enseñanza y formación profesional.
Facultad de Ingeniería Química	Por la enseñanza recibida y experiencias compartidas.
Mis amigos de la Facultad	Wendy Serrano, Paola Gómez, Gerson Villatoro, Esvin Abel y Luz Figueroa, por su apoyo incondicional y aprendizaje y experiencias compartidas.
Technofilms	Por haberme abierto las puertas y compartir experiencias profesionales, por confiar en mí y permitirme ser parte del crecimiento de la compañía.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS IX
GLOSARIO XI
RESUMEN XIII
OBJETIVOS XV
INTRODUCCIÓN XVII

1. MARCO CONCEPTUAL 1
1.1. Antecedentes 1
1.2. Justificación 3
1.3. Determinación del problema 5
1.3.1. Definición 6
1.3.2. Delimitación 6

2. MARCO TEÓRICO 7
2.1. Impresión flexográfica 7
2.1.1. Proceso de impresión flexográfico 8
2.1.1.1. Preimpresión flexo 8
2.1.1.2. Fototransporte 8
2.1.1.3. Montaje del cliché 9
2.1.1.4. Montaje de los cilindros 9
2.1.1.5. Entintado 9
2.1.1.6. Tirada 9

2.1.2. Mecanismos para lograr mantener la optimización de proceso en la impresión de empaque flexible 11
2.1.3. Variables críticas en el proceso de impresión flexográfico 12
2.1.3.1. Sustratos 12
2.1.3.1.1. Polietileno 13
2.1.3.2. Tintas para impresión 13
2.1.3.2.1. Elaboración de pruebas de color en tintas 14
2.1.3.3. Montaje de placas 14
2.1.3.4. Rodillos anilox 14
2.1.3.5. Doctor Blades 15
2.1.3.6. Optimización del equipo (prensa) 15
2.2. Indicadores clave de desempeño KPI 16
2.2.1. Pasos necesarios para la elección de KPI 16
2.2.2. Plan de acción para la recolección de datos 16
2.3. Optimización de proceso 17
2.3.1. Balance de masa y energía 17
2.3.2. Principios de optimización 19

3. MARCO METODOLÓGICO 21
3.1. Variables 21
3.1.1. Variables independientes 21
3.1.2. Variables dependientes 22
3.2. Delimitación de campo de estudio 22
3.3. Recursos humanos disponibles 23
3.4. Recursos materiales disponibles 24

3.5. Técnicas cualitativas o cuantitativas 24
3.5.1. Diseño preliminar 25
3.6. Recolección y ordenamiento de la información 26
3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información 27
3.7.1. Procedimiento para la definición de las características principales de las materias primas y el proceso de impresión flexográfico 28
3.7.2. Procedimiento para la elaboración de un balance de masa y energía, del proceso de impresión flexográfico actual, en función de entradas de materia prima y salidas de producto terminado, como resultado del proceso 29
3.7.3. Identificar los principales indicadores clave de desempeño (KPI), que deben tomarse en cuenta en el proceso de impresión de empaque flexible 29

4. RESULTADOS 31

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 53

CONCLUSIONES 57
RECOMENDACIONES 59
BIBLIOGRAFÍA 61
APÉNDICES 63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Manufactura de productos químicos 3
2. Impresión flexográfica 8
3. Proceso de impresión flexográfico 10
4. Envoltorios obtenidos en impresión flexográfica 10
5. Procedimiento de caracterización de materia prima 25
6. Defecto adherencia 37
7. Defecto de sangrado 38
8. Defecto de bloqueo 40
9. Defecto de punteo 42
10. Manchado o rebabeo 43
11. Emplastamiento del punto 45
12. Fantasma 46
13. Resistencia mecánica de la tinta (a) 48
14. Resistencia mecánica de la tinta (b) 49
15. Registro 50
16. Densidades teóricas para tintas proceso recomendadas por First..... 55

TABLAS

I. Definición de variables independientes 21
II. Definición de variables dependientes 22
III. Recursos humanos disponibles 23
IV. Recursos materiales disponibles 24

V. Tabla para la recolección de datos medición de las principales características primarias de la materia prima 27
VI. Tabla para la recolección de datos medición de los principales indicadores de desempeño en el proceso de impresión flexográfico 28
VII. Identificación de los principales indicadores clave de desempeño KPI aplicados a la impresión de polietileno para azúcar 31
VIII. Medición del rendimiento de tinta en impresión en diferentes corridas para la película de polietileno para azúcar en función del calibre 1,8 mls 32
IX. Medición del rendimiento de tinta en impresión en diferentes corridas para la película de polietileno para azúcar en función del calibre 2,0 mls 32
X. Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno transparente para azúcar proveedor A 33
XI. Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno transparente para azúcar proveedor b 33
XII. Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno lechoso para azúcar proveedor a 34
XIII. Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno lechoso para azúcar proveedor b 34
XIV. Densidades teóricas para tintas proceso recomendadas por First 35
XV. Medición rendimiento de materias primas principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas A 35
XVI. Medición rendimiento materias primas principales, principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas A 35
XVII. Medición rendimiento de materias primas principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas B 36

XVIII. Medición rendimiento de materias primas principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas B 36
XIX. Resultados rendimiento proveedor A 54
XX. Resultados rendimiento proveedor B 54
XXI. Mezclas de solmix (solvente) a utilizar en el proceso de impresión de empaque flexible 55

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
mls	Calibre en milésimas de pulgada
Zhan 2	Copa para medir viscosidad de tinta
Q/kg	Costo de tinta por kilo impreso
D	Densidad de color
ΔE Lab	Diferencia entre color experimental y estándar
kg/m	Factor kilo sobre metro
g/m^2	Gramaje en gramos sobre metro cuadrado
kg	Kilogramos
m	Metros lineales
mc	Micras
kg impreso/kg tinta	Rendimiento kilo impreso por kilo de tinta
m^2 impreso/kg tinta	Rendimiento metro cuadrado impreso por kilo de tinta.
m/min	Velocidad de impresión en metros por minuto
s	Viscosidad en segundos

GLOSARIO

Flexografía	Proceso de impresión que utiliza formas en relieve para transferir una imagen.
KPI	Indicadores clave de desempeño.
Reología	Estudio del movimiento de moléculas de la tinta.
Solmix	Mezcla de solventes para disminuir la viscosidad de la tinta.
Sustrato	Película flexible impresa o sin impresión con un grosor o calibre dado.
Tintas	Dispersión de partícula fina en un medio líquido (solvente) que le da cubrimiento y embellecimiento a una película.
Tratamiento corona	Tensión superficial aplicada por medio de choques eléctricos a un sustrato para adherir la tinta.
Viscosidad	Valor de resistencia a fluir de la tinta.

RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación tiene como objetivo elaborar un procedimiento técnico para la medición de los principales indicadores clave de desempeño, para la optimización el proceso de impresión de empaque flexible.

Las principales características en el proceso de impresión, son evaluadas de acuerdo a su desempeño. Son tomadas en cuenta a partir de la necesidad de optimizar el proceso de impresión de empaque flexible, a fin de hacer más eficiente, y en la medida de lo posible, documentarlos para futuras referencias técnicas del mismo. Entre los principales indicadores clave de desempeño se encuentra la medición del rendimiento de la tinta para impresión y taza de reutilización de tinta reprocesada (tipo base solvente), el cálculo de desperdicio de material (en kg) generado antes de empezar una corrida industrial, tiempos de paro en el proceso productivo por cuadre de colores y defectos de impresión que puedan darse en la corrida industrial. Dichos defectos pueden darse por causas operacionales y decrecimiento en la eficiencia del equipo.

La parte experimental se llevó a cabo en las instalaciones de una planta de manufactura de empaque flexible, los principales indicadores de desempeño se midieron durante las corridas industriales recurrentes. Dichos indicadores son considerados a partir de las oportunidades de mejora detectadas en el proceso de impresión de empaque flexible. Son puntos clave para el ahorro en costos incluidos en el proceso de impresión.

OBJETIVOS

General

Elaborar un sistema de medición de datos o *check list*, para obtener los principales indicadores clave de desempeño (KPI), y su implementación en la optimización del proceso de impresión de empaque flexible, aplicándolo a la impresión de polietileno para azúcar.

Específicos

1. Comparar características de materias primas principales (sustratos, tintas y solventes) con análisis de certificado de calidad del proveedor, antes de su ingreso al proceso de impresión flexográfico, en función de establecer la estructura ideal requerida del proceso.

2. Elaborar un control de inventario de materiales principales (sustratos, tintas y solventes), utilizados en el proceso de impresión flexográfico actual, en función de entradas de materia prima y salidas de producto terminado, como resultado del rendimiento de tinta obtenido (COSTO Q/kg impreso), aplicado a la impresión de polietileno para empaque de azúcar.

3. Realizar un análisis comparativo de rendimiento (COSTO Q tinta/kg impreso) entre dos proveedores de tinta; a fin de determinar la mejor opción de uso para mejorar la rentabilidad y productividad en el proceso

de impresión de empaque flexible, aplicándolo a las referencias de polietileno para azúcar.

4. Determinar las principales deficiencias que afectan el desempeño y productividad del proceso de impresión de empaque flexible, identificar sus causas probables y proponer acciones correctivas.

INTRODUCCIÓN

Los principales indicadores de desempeño utilizados para el proceso de impresión de empaque flexible, son funcionales para establecer la eficiencia y rentabilidad del mismo. Estos constituyen las gestiones y procedimientos más críticos dentro del proceso global. Los indicadores clave de rendimiento o desempeño, son instantáneos de alto nivel de una empresa u organización definidas sobre la base de las medidas específicas predefinidas. Típicamente los Índices Clave de Desempeño KPI de un proceso, consisten en cualquier combinación de informes, hojas de cálculo o gráficos; tendencias a través del tiempo, tendencias de ciertos comportamientos de procesos, de personal; información verdadera, fuente de la cadena de tiempo o cualquier otra cosa que se considera fundamental para el éxito corporación o proceso. Los KPI en el proceso de impresión flexográfico, pueden desarrollarse a fin de predecir comportamientos y parámetros, estandarizando variables, optimizando la productividad del proceso.

El proceso de impresión de empaque flexible, es un proceso variable, en el cual es necesario que algunos aspectos sean estandarizados, tomando indicadores índices de desempeño, a fin de optimizar y hacer más rentable el proceso.

El trabajo de investigación que se presentará a continuación, se enfocará en la medición de los principales indicadores clave de desempeño para la optimización del proceso de impresión de empaque flexible.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

De acuerdo a la definición de Wikipedia[1] “la flexografía es una técnica de impresión en relieve, puesto que las zonas impresas de la forma están realzadas respecto de las zonas no impresas. La plancha, llamada cliché o placa, es generalmente de fotopolímero (anteriormente era de hule vulcanizado) que, por ser un material muy flexible, es capaz de adaptarse a una cantidad de soportes o sustratos de impresión muy variados”.

En este sistema de impresión se utilizan tintas líquidas caracterizadas por su gran rapidez de secado. Esta velocidad de secado es la que permite imprimir volúmenes altos a bajos costos, comparado con otros sistemas de impresión.

FIRST[2] indica que el proceso de impresión flexográfico, es un proceso variable, debido a las materias primas utilizadas, estas dependen de la variabilidad de la imagen a transferir y los ajustes que deban hacerse al proceso de impresión como lo son: velocidad, presión, temperatura y flujo de aire. Es por ello, que dicho proceso ha tenido una serie de cambios durante su historia. En la actualidad las máquinas impresoras, han sido desarrolladas para poder producir mayor cantidad de repeticiones por minuto e imágenes con mejor definición, pero manteniendo márgenes de bajo costo y mayor productividad. Es por esto que se ha vuelto indispensable estandarizar variables,

[1] Wikipedia La Enciclopedia Libre (Buscador Google.com.gt, Septiembre 2012).
[2] Gráfica Navarro Grupo Empresarial 2004, Líder Nacional en la Industria Gráfica, FIRST (Flexographic Image Reproduction Specifications and Tolerances. p. 5.)

implementando índices clave de desempeño, que predigan el comportamiento del proceso de impresión.

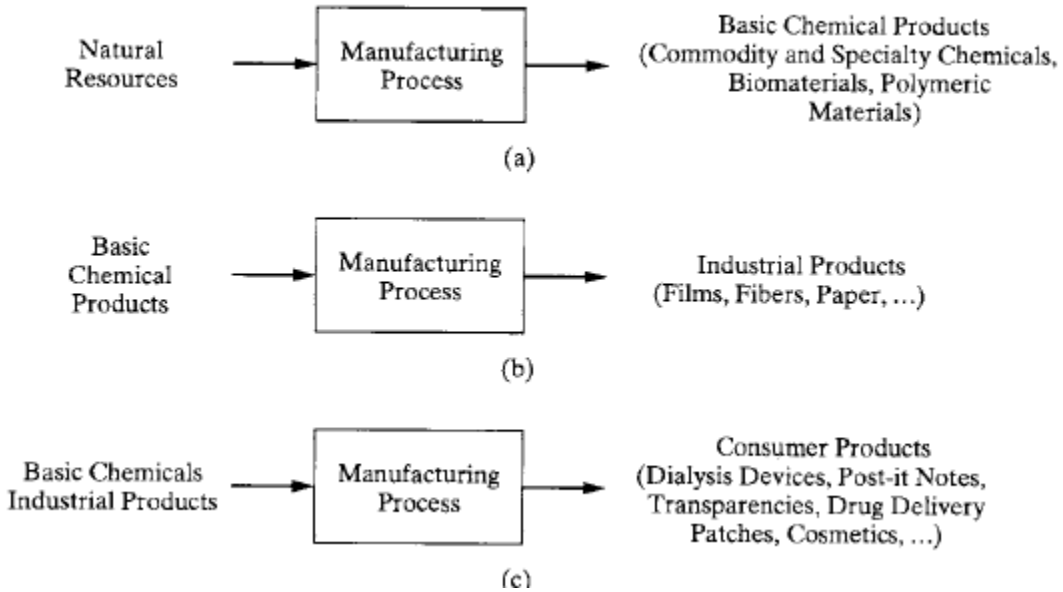
De acuerdo al Manual de KPI[3] los indicadores clave de rendimiento son instantáneos de alto nivel de una empresa u organización definidas sobre la base de las medidas específicas predefinidas. Típicamente los Indicadores Clave de Desempeño KPI'S de un proceso, consisten en cualquier combinación de informes, hojas de cálculo o gráficos, tendencias a través del tiempo, de ciertos comportamientos de procesos, de personal, información verdadera fuente de la cadena de tiempo o cualquier otra cosa que se considera fundamental para el éxito corporación o proceso. Los KPI en el proceso de impresión flexográfico, pueden desarrollarse a fin de predecir comportamientos y parámetros, estandarizando variables, optimizando la productividad del proceso.

Warren [4] describe la importancia de optimizar un proceso, de la siguiente forma: “El diseño del resultado de productos químicos, empieza, con la identificación y creación de oportunidades potenciales para satisfacer las necesidades de la sociedad y generar beneficios”. Adicional, es importante definir que el alcance de productos químicos es extremadamente amplios y pueden clasificarse de la siguiente forma: a) Productos químicos básicos, b) productos industriales y c) productos de consumo. Tal y como se muestra en la siguiente figura:

[3] KPI Manual, www.investopedia.com/terms/k/kpi.asp. Consulta: septiembre de 2012.

[4] WARREN D. Seider, *Product and process desingn principles*. p. 5.

Figura 1. **Manufactura de productos químicos**



Fuente: WARREN D. Seider, *Product and process desingn principles*. p. 5.

Este trabajo de investigación se enfocará en identificar los principales indicadores clave de desempeño para poder obtener productos terminados tipo B, como se indica en la figura 1, procesados por medio de la entrada de productos químicos básicos y convertidos en productos de consumo masivo. La función de la elaboración e identificación de los principales KPI es hacer más óptimo y rentable el proceso.

1.2. Justificación

El siguiente trabajo de investigación tiene como objetivo principal, diseñar un sistema de procedimientos para medir los principales indicadores clave de desempeño (KPI), en la operación del proceso de impresión de empaque flexible.

Un sistema KPI consiste en una serie de informes y tendencias, elaboradas conforme se desarrolla el conjunto de variables que pueden afectar un proceso definido. En el proceso de impresión flexográfica, los KPI juegan un papel importante, ya que pueden generar predicciones durante dicho proceso, a fin de evitar un desgaste en la productividad del mismo. La ventaja de la elaboración y creación de un sistema KPI, es que estos pueden ser funcionales a través del tiempo, ya que se basan en ser cuantificables, medibles, pueden ser evaluados a través de objetivos establecidos, siguiendo dimensiones claves.

El proceso de impresión flexográfico, depende de muchas variables, las cuales en conjunto desarrollan la funcionalidad del proceso de impresión. Es necesario que estas variables sean controladas y estandarizadas, a fin de evitar defectos en la impresión del empaque; la única forma utilizada para lograr dicho objetivo es identificando los errores comunes en el proceso.

Es necesario que dichas variables sean controladas por medio de un análisis de procedimientos, para la medición de puntos clave de desempeño en todo el proceso de impresión de empaque flexible. El objetivo principal de dichos análisis, puede ser el estandarizar las variables del proceso y documentar aquellos problemas que puedan darse dentro del proceso con cierta frecuencia, a fin de proponer acciones correctivas y evitar que puedan darse nuevamente.

El resultado final de la elaboración de un sistema de procedimientos para la identificación de KPI, es describir un proceso de impresión flexográfico controlado, así como un conjunto de especificaciones técnicas que deben utilizarse desde el concepto de la entrada de materia prima, así como la aplicación de especificaciones y estándares. Todo ello se traduce en el control de costos, eficiencia en la producción, mejor rendimiento, resultados

consistentes y predecibles, así como estándares de calidad; asimismo, la predicción de ciertos comportamientos en los procesos de impresión, que puedan basarse en mediciones específicas predefinidas.

Los resultados del estudio, finalmente se verán reflejados en la comodidad del cliente final, ya que pretenden reducir tiempos de entrega y optimizar costos de operación, los cuales benefician en el precio de venta del producto terminado.

El objetivo del diseño en la optimización de la impresión flexográfica es determinar la combinación óptima de los materiales de entrada, tales como las placas, los respaldos adhesivos, los rodillos anilox, la tinta y los sustratos, para lograr los mejores resultados de impresión posible en una prensa flexográfica particular. Después de hacer las pruebas para determinar las combinaciones óptimas para los diversos tipos de gráficos, es importante estandarizar las combinaciones de estas variables y utilizar consistentemente los mismos materiales. El cambio en los componentes y variables modificará los resultados de la caracterización y por lo tanto será incorrecta, esto puede hacer que no sea posible lograr una calidad de impresión en prensa. Es por ello, que surge la necesidad de elaborar dicho procedimiento.

1.3. Determinación del problema

El problema central es que no existe un procedimiento técnico para la medición de los principales indicadores clave de desempeño (KPI, por sus siglas en inglés), para el diseño en la optimización del proceso de impresión de empaque flexible.

1.3.1. Definición

El diseño de medición de KPI, para la optimización de un proceso, conlleva la creación alternativa para el desarrollo de diagramas de flujo, que llevan a cabo una transformación deseada entre ciertas materias primas transformándolas a productos específicos.

Dicho trabajo pretende la generación de alternativas que cumplan con el proceso de optimización, por medio de la medición de indicadores clave de desempeño, que promueven un comportamiento estándar dentro del proceso.

1.3.2. Delimitación

Este trabajo de graduación se enfocará en la elaboración de un sistema de procedimientos en la medición de los principales indicadores clave de desempeño (KPI) en el diseño para la optimización del proceso de impresión de empaque flexible, en una planta flexográfica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Impresión flexográfica

“La flexografía es un proceso de impresión que utiliza formas en relieve; la superficie de la imagen se eleva sobre el fondo (zona de no imagen). La forma impresora además está invertida, es decir, lo que aparece a la derecha saldrá impreso a la izquierda y viceversa” (First, 2004, p. 101).

Para imprimir, la forma impresora se entinta con tinta líquida mediante un rodillo especial llamado anilox. Luego se presiona levemente sobre el soporte y solamente la zona de imagen entra en contacto con él, quedando depositada la tinta sobre el mismo.

La ciencia de la reproducción gráfica requiere resultados medidos, controlados, optimizados y repetibles. Los procedimientos paso a paso describen métodos probados para la impresión repetible, consistente y rentable.

En el proceso de impresión, es importante definir el concepto de color, ya que por medio del el serán transferidas las imágenes finales al substrato.

Figura 2. **Impresión flexográfica**

Fuente: https://www.google.com.gt/ -de-Impresion-La-Flexografia.html -La-Flexografia.html. Consulta: octubre de 2012.

2.1.1. Proceso de impresión flexográfico

El proceso de producción flexográfico tiene varias fases:

2.1.1.1. Preimpresión flexo

La flexografía tiene una preimpresión propia, alejada en algunos aspectos de la preimpresión *offset*. Las particularidades más importantes son: el manejo de selecciones de color, no de cuatricromía, y el cálculo de desarrollo de la imagen.

2.1.1.2. Fototransporte

El cliché se obtiene a partir de negativo. Después de insolado, se procesa el cliché para cada color seleccionado.

2.1.1.3. Montaje del cliché

El cliché flexo va pegado sobre el cilindro portaclichés. Los clichés de cada color se montan en su cilindro correspondiente.

2.1.1.4. Montaje de los cilindros

El cilindro de cliché se coloca en la estación de impresión correspondiente. El diámetro de los cilindros seleccionados debe corresponder con el desarrollo del trabajo.

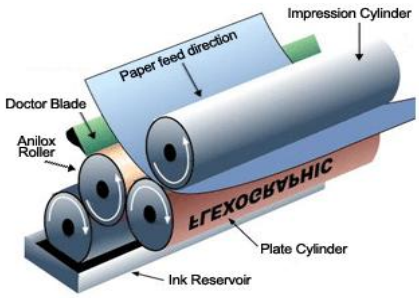
2.1.1.5. Entintado

El anilox es determinante para el entintado. En función del sustrato y tipo de colores definidos se selecciona el anilox. Cada estación se entinta con el color adecuado.

2.1.1.6. Tirada

El soporte recorre las estaciones de impresión. Se llevan a cabo los ajustes de presiones iniciales. Y después se registra y se entona.

Figura 3. **Proceso de impresión flexográfico**



Fuente: https://www.google.com.gt/ -de-Impresion-La-Flexografia.html -La-Flexografia.html. Consulta: octubre de 2012.

El resultado final de este procedimiento, da como resultado un sinfín de envoltorios para todo tipo de substratos como por ejemplo: *snacks*, etiquetas autoadhesivas, formularios, vasos, bolsas plásticas para todo tipo de alimentos etc.

Figura 4. **Envoltorios obtenidos en impresión flexográfica**

Fuente: https://www.google.com.gt/ -de-Impresion-La-Flexografia.html -La-Flexografia.html. Consulta: octubre de 2012.

2.1.2. Mecanismos para lograr mantener la optimización de proceso en la impresión de empaque flexible

First[5] indica que cuando una prensa se encuentra en las mejores condiciones mecánicas posibles, su rendimiento se optimiza, también una prensa que opera con partes desgastadas o que no funciona no puede imprimir de manera consistente, por lo tanto, se convierte en una variable no controlada.

La optimización de una impresión flexográfica, determina la mejor combinación de sus materiales involucrados como lo son: control de placas, anilox, por medio de la elaboración metódica de pruebas. Las características de impresión tales como ganancia de punto, registro y atrape son específicas para cada combinación de materiales utilizados en la prensa. Estas características de impresión se cuantifican mediante la "caracterización de la prensa", para un grupo determinado de variables (combinación de placas, anilox, respaldo adhesivo, tinta, etc.)

Al inicio del proceso de optimización se prueban los materiales utilizados en la actualidad. Se corre una prueba de un solo color, si se obtienen las especificaciones recomendadas, la combinación de materias primas es aceptable, de lo contrario, es necesario llevar a cabo la optimización. Es importante verificar que los materiales elegidos tengan una ejecución igual a la esperada en la producción diaria.

[5] Gráfica Navarro Grupo Empresarial 2004, Líder Nacional en la Industria Gráfica, FIRST (Flexographic Image Reproduction Specifications and Tolerances. México D.F.

2.1.3. Variables críticas en el proceso de impresión flexográfico

First[6] indica que las variables de impresión significativas que son críticas en la administración y el mantenimiento de los resultados impresos, son las siguientes:

- Sustratos
- Tintas
- Montaje de placas
- Rodillos anilox
- Doctor Blades
- Optimización del equipo (prensa)

Definamos cada una de estas variables a continuación:

2.1.3.1. Sustratos

Las diferentes propiedades de los sustratos afectan la calidad de la impresión. Las especificaciones y tolerancias varían ampliamente ya que muchas de ellas son especificadas por el cliente (comprador) y existen amplias diferencias dentro de los grupos de sustratos, dependiendo del calibre, peso base, grado, proveedor, etc. Las especificaciones deben establecerse basadas en las necesidades de la impresión final y de las capacidades del proceso. El atributo predominante de la calidad del sustrato requerido es la uniformidad (o consistencia) dentro de un lote y entre lotes distintos.

[6] Gráfica Navarro Grupo Empresarial 2004, Líder Nacional en la Industria Gráfica, FIRST (Flexographic Image Reproduction Specifications and TolerancesMéxico D.F. p. 45.

2.1.3.1.1. Polietileno

El polietileno (PE) es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva $(CH_2\text{-}CH_2)_n$. Es uno de los plásticos más comunes, debido a su alta producción mundial (aproximadamente 60 millones de toneladas anuales alrededor del mundo) y a su bajo precio. Es químicamente inerte. Se obtiene de la polimerización del etileno (de fórmula química $CH_2{=}CH_2$ y llamado eteno por la IUPAC), del que deriva su nombre.

Este polímero puede ser producido por diferentes reacciones de polimerización, por ejemplo: polimerización por radicales libres, polimerización aniónica, polimerización por coordinación de iones o polimerización catiónica. Cada uno de estos mecanismos de reacción produce un tipo diferente de polietileno.

Es un polímero de cadena lineal no ramificada. Aunque las ramificaciones son comunes en los productos comerciales. Las cadenas de polietileno se disponen bajo la temperatura de reblandecimiento Tg en regiones amorfas y semicristalinas

2.1.3.2. Tintas para impresión

La tinta es una dispersión de partículas finas en un medio líquido, que le da cubrimiento y embellecimiento a un soporte o película. Está constituida principalmente por: formadores de película, plastificantes, solventes y pigmentos.

2.1.3.2.1. Elaboración de pruebas de color en tintas

El propósito de las pruebas de tinta es generar igualaciones de color precisas y repetibles en el laboratorio para minimizar o eliminar la igualación del color en la prensa. Los procedimientos desarrollados deben ser: precisión de color con relaciones a la prensa, independientes del operador, reproducible a través del tiempo, basadas en mecanismos duraderos de bajo costo, fáciles de limpiar y mantener.

2.1.3.3. Montaje de placas

Los materiales que se utilizan para adherir las placas al cilindro de impresión o a la hoja portadora, tienen una variación de calibre inherente que afectará de manera significativa la calidad de impresión. De modo similar, las características individuales del material de montaje pueden cambiar la dureza general de la combinación de la montura de la placa y esto también puede afectar enormemente el comportamiento y rendimiento de la placa, las propiedades críticas que pueden afectar incluyen densidad, grosor (cuanto mayor grosor tenga la cinta de montaje, mayor amortiguamiento tendrá la imagen en prensa) y flexibilidad. La densidad y el grosor afectan a la ganancia de punto y a los sólidos. A pesar de que las distintas marcas, aseguran tener propiedades similares, las diferencias en la imagen impresa son medibles.

2.1.3.4. Rodillos anilox

El grabado de un rodillo anilox consiste de volumen de la celda (tamaño de cada celda), conteo de la celda/pantalla (número de celdas por pulgada lineal) y ángulo al que se graban las celdas. El volumen de celda de un rodillo

anilox es el responsable de la cantidad de tinta suministrada a la placa de impresión y de la densidad resultante. El volumen de un rodillo anilox se mide en billones de micras cúbicas por pulgada cuadrada (BCM/p^2).

2.1.3.5. Doctor Blades

Las doctor Blades están elaboradas con acero, plástico y materiales compuestos, sin importar el material utilizado, la doctor Blade debe ser plana y recta con un grosor controlado y debe tener una superficie terminada de modo que pueda proporcionar una transferencia limpia y uniforme del rodillo anilox.

2.1.3.6. Optimización del equipo (prensa)

El objetivo de la optimización de la prensa es determinar si esta mantiene mecánicamente las configuraciones de impresión, registro y suministro uniforme de la tinta. Deben elaborarse pruebas de impresión para probar las diversas configuraciones de la prensa y los componentes mecánicos para verificar que la prensa sea consistente y capaz de mantener sus configuraciones.

Las prensas nuevas seguramente operan a su máxima capacidad. Sin embargo, con el uso diario, el desgaste es inevitable. Los cambios provocados por el desgaste ocurren lentamente y pueden pasar desapercibidos, a menos que rutinariamente se realicen mediciones y que estas se comparen con las especificaciones de operación adicionales. El objetivo de la optimización de la prensa es revisar todos los aspectos que puedan impedir su correcta operación. Sin lugar a dudas, un programa regular de mantenimiento contribuye a mantener una prensa en óptimas condiciones.

2.2. Indicadores clave de desempeño KPI

Los indicadores clave de desempeño son medidas clave que miden el rendimiento de una organización en un área determinada, que por lo regular afecta el desempeño final en conjunto de la organización. Los KPI se caracterizan por ser:

- Cuantificables
- Medibles en el hoy y el resto del tiempo
- Evaluados regularmente contra objetivos preestablecidos
- Seguidos por la gestión de toda la organización
- Describe dimensiones como tiempo, producto, servicio, etc.

2.2.1. Pasos necesarios para la elección de KPI

- Elección de los indicadores clave de rendimiento pertinente en un proceso determinado.
- Definición de la responsabilidad de cada partido y para cada KPI
- Desarrollo de planes de acción específicos para cada KPI
- Definición de medición para cada KPI (antes y objetivo)
- Definición de los ahorros relacionados para cada KPI.

2.2.2. Plan de acción para la recolección de datos

La mayoría de los defectos de impresión son causadas por algunas causas, como un:

- Entorno específico
- Error humano

- Materias primas como tinta, substrato, aspectos mecánicos del proceso. La clave consiste en recoger datos sobre las ocurrencias de cada una de las causas y encontrar soluciones para los más impactantes, las cuales se mencionan a continuación:

- Análisis de los datos y la identificación de los defectos (aspectos técnicos).
- Análisis de los datos y la identificación de las causas
- La priorización de las acciones.
- Utilice todas las herramientas existentes, por ejemplo, guías de resolución de problemas para ampliar los aspectos técnicos.

2.3. Optimización de proceso

Según Arturo Jiménez Gutiérrez:[7] en el análisis de sistemas de ingeniería ocurren muchas veces situaciones que provocan efectos conflictivos en cuanto a su economía o algún objetivo establecido. Es por ello, que se establece la necesidad de contar con técnicas de optimización para encontrar esos mejores valores de las variables de diseño.

2.3.1. Balance de masa y energía

Todo equipo para transferencia de calor se utiliza esencialmente en todas las industrias de proceso, el ingeniero de diseño debe estar familiarizado con los diferentes tipos de equipo empleados para todo tipo de operaciones. Para una selección inteligente de los equipos de transferencia de calor, es necesario entender de la teoría básica de transferencia de calor y los métodos para los

[7] "Diseño de Procesos en Ingeniería Química" Arturo Jiménez Gutiérrez, Instituto Tecnológico de Celaya.

cálculos básicos del diseño. Es importante mencionar, que el calor puede ser transferido desde una fuente a un receptor por conducción, convección o radiación, en muchos casos el intercambio se produce por una combinación de estos mecanismos. Cuando la tasa de transferencia de calor es constante y no se ve afectada por el tiempo, el flujo de calor se define como estar en un estado de equilibrio.

En la transferencia de masa, de una fase a otra, se aplican muchas veces operaciones como destilación, absorción, extracción, humidificación, adsorción, secado y cristalización.

La función principal de los equipos utilizados para estas operaciones, es permitir el contacto eficiente entre las fases.

En la mayoría de diseños para equipos de transferencia de masa, requieren un desarrollo y evaluación del número de etapas teóricas o unidades de transferencia en el proceso.

La relación entre la transferencia de masa – energía y el proceso de impresión flexográfico, consiste en controlar variables de la absorción de todo disolvente involucrado en el secado y transferencia de la tinta para impresión de empaque; asimismo, la transferencia de la misma a los materiales utilizados en el proceso a fin de obtener un óptimo empaque terminado.

2.3.2. Principios de optimización

En el análisis y diseño de sistemas de ingeniería ocurren muchas veces situaciones que provocan efectos conflictivos en cuanto a su economía o algún objetivo establecido. En muchas ocasiones la búsqueda de este valor óptimo no es trivial, de aquí se establece la necesidad de contar con técnicas de optimización para encontrar esos mejores valores de las variables de diseño. Para optimizar un sistema, se debe establecer una función objetivo, la cual trata de maximizar algún tipo de beneficios o salidas del sistema, o de minimizar algún tipo de costos o entradas al proceso. Relaciones adicionales en forma de balances de materia, balances de energía, ecuaciones de diseño y estipulación de algunas variables que afectan el proceso.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Para el cumplimiento de los objetivos es necesario tomar en cuenta las siguientes variables.

3.1.1. Variables independientes

Estas son:

Tabla I. **Definición de variables independientes**

No.	KPI más relevantes en el proceso de impresión Flexográfico	Unidad de medida
1	Establecimiento de tiempos	Minutos
2	Número de corridas de producción (tiempo improductivo por cambio)	Unidad numérica
3	Material de desperdicio durante la puesta en marcha (revalidarlo)	Metro lineal
4	Tiempo de paro relacionado con tinta	Minutos
5	Tiempo de lavado del equipo	Minutos
6	Nivel de rentabilidad de la tinta en prensa (Rendimiento)	Metros cuadrado impreso / kilo de tinta base solvente
7	Tasa de reutilización de la tinta de reproceso	Porcentaje
8	Devoluciones y no conformidades de parte del cliente	Número de bobinas, metros lineales, kilos impresos

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

Estas son:

Tabla II. **Definición de variables dependientes**

No.	Variable dependiente	Especificaciones
1	Mano de obra	Horas trabajadas
2	Materia prima	Sustrato de impresión
3	Medición	Tiempo / desperdicio
4	Medio ambiente	Temperatura / presión
6	Máquina	Temperatura / flujo de aire
7	Método	Rendimiento

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- Área: impresión, planta de empaques flexibles.
- Proceso: diseño y elaboración de un procedimiento técnico para la medición de los principales indicadores clave de desempeño, para la optimización del proceso de impresión de empaque flexible.
- Ubicación: Technofilms, kilómetro 32 carretera al Pacífico, bodega “A”, Parque Industrial Flor de Campo, Amatitlán, Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

Estos son:

Tabla III. **Recursos humanos disponibles**

Descripción	Cantidad	Lugar de Trabajo
Investigador	**1**	
Asesor	**1**	Technofilms
Co Asesor	**1**	
Impresor (2 turnos)	**2**	Technofilms
Ayudante de impresión (2 turnos)	**2**	Technofilms
Supervisor de impresión (2 turnos)	**2**	Technofilms
Igualador de color (2 turnos)	**2**	Technofilms

Fuente: elaboración propia.

3.4. Recursos materiales disponibles

Estos son:

Tabla IV. **Recursos materiales disponibles**

Cantidad	Descripción
1	Bata
1	Computador (Marca hp) office 2007
100	Hojas de Papel para Imprimir
1	Impresora (Marca Canon IP 2700)
1	Cámara de foto (Marca Samsung)
100 kg	Tinta líquida base solvente (varios colores)
3	Impresoras para imprimir empaque flexible Tipo Miraflex y Normecanican
1000 m^2	Material de Polietileno para imprimir
1	Cronómetro
1	Marcador
1	Balanza Analítica
1	Cuchilla
300 kg	Solvente para reducir viscosidad (80/20 propanol/acetato)
1	Copa Zhan 2 para medir viscosidad
1	Espectrofotómetro (para medición de color)
1	Par de Zapatos de Seguridad
3	Lapiceros
200 kg	De Solvente para lavado de equipo

Fuente: elaboración propia.

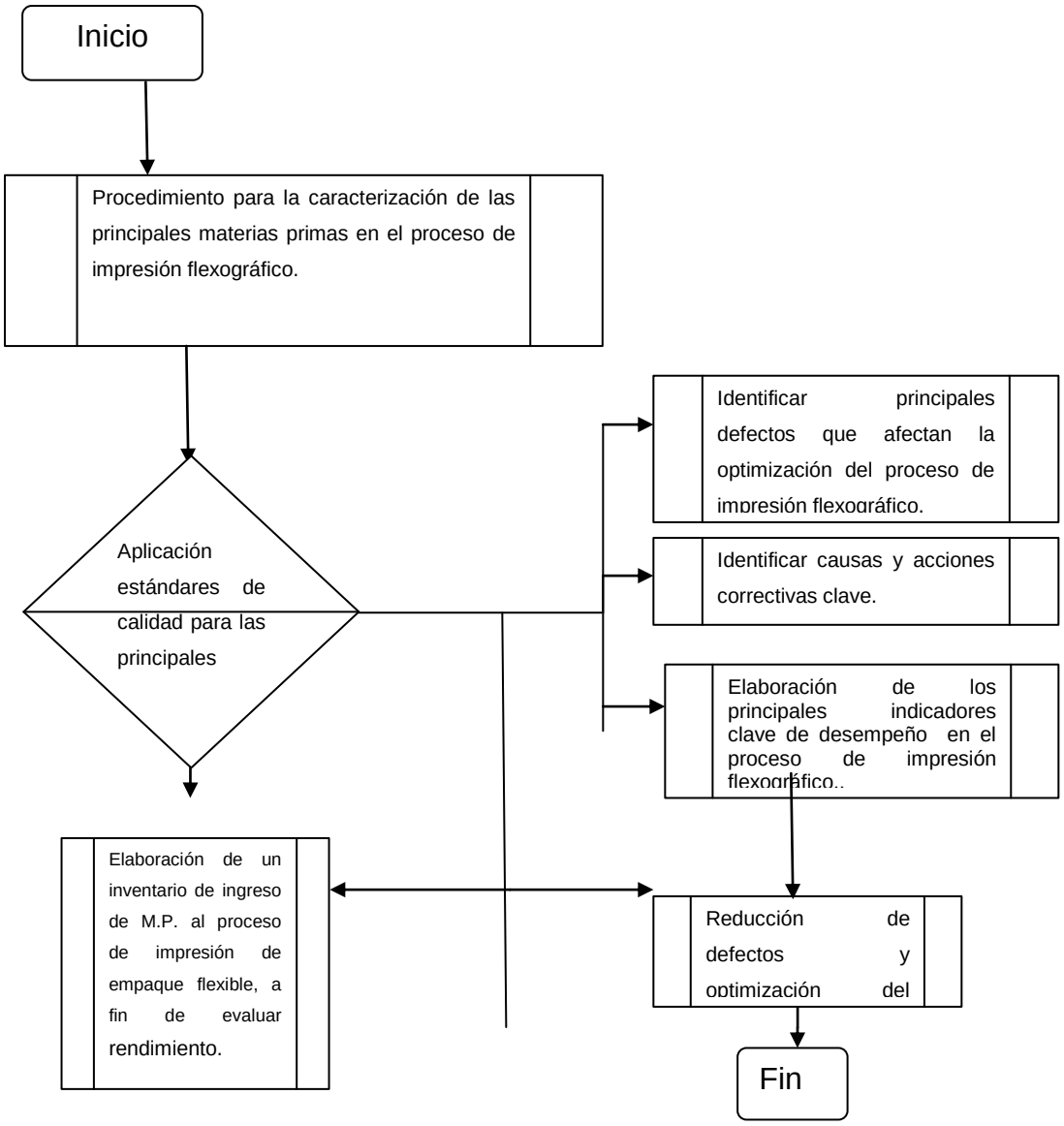
3.5. Técnicas cualitativas o cuantitativas

El presente trabajo de investigación estará basado en una técnica mixta (cualitativa y cuantitativa), debido a que se definirán los parámetros para elaboración de un procedimiento técnico para la medición de los principales índices de desempeño a fin de optimizar el proceso de impresión flexográfico.

3.5.1. Diseño preliminar

A continuación se muestra el procedimiento de caracterización de materia prima.

Figura 5. **Procedimiento de caracterización de materia prima**



Fuente: elaboración propia.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para la elaboración del siguiente trabajo de investigación, se estima identificar los principales indicadores clave de desempeño para el proceso de impresión flexográfico. Es importante mencionar, que al aplicar los principales indicadores clave de desempeño, el proceso será optimizado, utilizando así, el máximo recurso disponible, minimizando los costos de producción.

Para poder optimizar este proceso es necesario aplicar los procedimientos siguientes: es de suma importancia la revisión preliminar de las características óptimas de la materia prima en proceso, en este caso, las materias primas más importantes dentro del proceso son la tinta base solvente para impresión y el sustrato.

Es necesario realizar un balance de masa y energía en el proceso de impresión de empaque flexible, a fin de obtener la transformación de la materia prima en producto terminado deseado.

Aplicar el procedimiento, para identificar los puntos críticos de control y defectos del proceso de impresión flexográfico, valuar las casusas y plantear acciones correctivas para la mejora continua de cada defecto.

Es necesario identificar, los principales indicadores clave de desempeño en el proceso de impresión flexográfico y documentarlo, a fin de plantarlo como un procedimiento para la medición del mismo.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación se muestra la tabla utilizada para recolección de datos sobre las características primarias que debe tener la materia prima.

Tabla V. **Tabla para la recolección de datos medición de las principales características primarias de la materia prima**

Materia Prima	Sustrato			Tinta Base Solvente					
Corrida No.	Calibre (mc)	Apariencia	Tensión Superficial (Dinas/m^2)	Viscosidad (s)	Taño de Partícula (mc)	ΔE de color Lab	Tiempo de Secado (s)	% Sólidos	% Dilución
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Tabla para la recolección de datos medición de los principales indicadores de desempeño en el proceso de impresión flexográfico**

							KPI1			KPI2			KPI3		
Fecha	W.o	Trabajo	Longitud de producción (m)	Trabajo repetitivo	Trabajo Nuevo	Tiempo de Cambio	Cuadre de color en máquina (min)	Comentarios	Problema Técnico	Problemas por tinta (min)	Comentarios	Problema Técnico	Desperdicio de material (m)	Comentarios	Problema Técnico

Fuente: elaboración propia.

3.7.1. Procedimiento para la definición de las características principales de las materias primas y el proceso de impresión flexográfico

Para la realización de este objetivo, es necesario tomar en cuenta las características principales que afectan a la materia prima en función de evaluar su desempeño dentro del proceso de impresión flexográfico.

En principio, se medirán las características principales del sustrato para imprimir, luego las características principales de la tinta líquida base solvente. Los valores de dichas características son clave, para el desempeño del proceso y producto terminado.

3.7.2. Procedimiento para la elaboración de un balance de masa y energía, del proceso de impresión flexográfico actual, en función de entradas de materia prima y salidas de producto terminado, como resultado del proceso

Para la elaboración de este objetivo es necesario tomar en cuenta las entradas y salidas de materia prima en el proceso de impresión flexográfico, asimismo, entradas y salidas de energía para poder definir el comportamiento y transformación de las materias primas en producto terminado.

Se llevarán a cabo mediciones de la temperatura de entrada y salida del túnel de secado en la máquina impresora flexográfica. Ello a fin de definir la capacidad de secado y evaporación de solventes de la tinta utilizada para imprimir cada uno de los colores. El flujo de aire en cada una de las estaciones de color varía de pendiendo el espesor de transferencia de tinta en el sustrato, sin embargo, la temperatura es constante.

Se medirán también variables de rendimiento de tinta por metro de polietileno impreso. El rendimiento de tinta se medirá pesando el ingreso de tinta virgen más la cantidad de solvente agregado.

3.7.3. Identificar los principales indicadores clave de desempeño (KPI), que deben tomarse en cuenta en el proceso de impresión de empaque flexible

Estos deben detectarse por cada no conformidad que se presente en el proceso de impresión, o bien, por cada tiempo de paro de máquina que supere el tiempo regular por paro.

Deben identificarse inmediatamente las causas de las no conformidades o paro en tiempo productivo a fin de proporcionar una acción correctiva.

Se debe medir la frecuencia con que se presentan dichos defectos, asimismo, establecer una relación entre el tiempo por paro productivo dividido entre el número de colores utilizados en la impresión.

4. RESULTADOS

Tabla VII. **Identificación de los principales indicadores clave de desempeño KPI aplicados a la impresión de polietileno para azúcar**

No.	KPI más relevantes en el proceso de impresión Flexográfico	Unidad de medida
1	Establecimiento de tiempos	Minutos
2	Número de corridas de producción (tiempo improductivo por cambio)	Unidad numérica
3	Material de desperdicio durante la puesta en marcha (revalidarlo)	Metro lineal
4	Tiempo de paro relacionado con tinta	Minutos
5	Tiempo de lavado del equipo	Minutos
6	Nivel de rentabilidad de la tinta en prensa (Rendimiento)	Metros cuadrado impreso / kilo de tinta base solvente
7	Tasa de reutilización de la tinta de reproceso y estandarización de valor de colores con espectrofotómetro	Porcentaje LAB

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Medición del rendimiento de tinta en impresión en diferentes corridas para la película de polietileno para azúcar en función del calibre 1,8 mls**

Materia prima				**Sustrato A**		
Corrida Núm.	Calibre (mls)	Metros de material (m)	Factor (Kg/m)	Gramaje sustrato (sin impresión) (g/m^2)	Gramaje total tinta seca (g/m^2)	Gramaje sustrato (impreso) (g/m^2)
1	1,8	2,910	0,014	42	0,58	42,58
2	1,93	2,910	0,014	40	2,57	42,57
3	1,67	2,910	0,013	41	1,56	42,56
4	1,79	2,910	0,012	40	2,58	42,58
5	1,76	2,910	0,015	42	0,54	42,54
6	1,68	2,910	0,014	43	0,55	43,55
7	1,69	2,910	0,013	44	0,58	44,58
8	1,7	2,910	0,012	41	1,57	42,57
9	1,9	2,910	0,014	40	2,56	42,56
10	1,89	2,910	0,013	42	0,57	42,57

Fuente: fase experimental corridas de impresión.

Tabla IX. **Medición del rendimiento de tinta en impresión en diferentes corridas para la película de polietileno para azúcar en función del calibre 2,0 mls**

Materia prima					**Sustrato** B	
Corrida Núm.	Calibre (mls)	Metros de material (m)	Factor (Kg/m)	Gramaje sustrato (sin impresión) (g/m^2)	Gramaje total tinta seca (g/m^2)	Gramaje sustrato (impreso) (g/m^2)
1	2	2,13	0,021	47	0,46	47,46
2	2,14	1,94	0,022	46	0,3	46,3
3	1,86	1,75	0,023	45	0,5	45,5
4	2,13	2,11	0,021	43	0,5	43,5
5	2,01	2,10	0,022	44	0,2	44,2
6	1,89	2,09	0,023	46	0,3	46,3
7	2,1	2,12	0,024	47	0,25	47,25
8	2,05	1,89	0,021	47	0,25	47,25
9	1,86	1,90	0,022	47	0,36	47,36
10	2	1,92	0,021	46	0,3	46,3

Fuente: fase experimental corridas de impresión.

Tabla X. **Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno transparente para azúcar proveedor A**

	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN		
COLOR PROCESO	**350 m/min**	**300 m/min**	**200 m/min**
NEGRO	1,4	1,52	1,53
CYAN	1,29	1,63	1,52
MAGENTA	1,2	1,3	1,41
AMARILLO	0,98	1,05	1,1

Fuente: datos experimentales obtenidos con espectrodensitómetro X-Rite SpectroEye.

Tabla XI. **Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno transparente para azúcar proveedor b**

	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN		
COLOR PROCESO	**350 m/min**	**300 m/min**	**200 m/min**
NEGRO	1,27	1,25	1,36
CYAN	1,08	1,25	1,43
MAGENTA	1,31	1,31	1,36
AMARILLO	1,05	0,97	0,98

Fuente: datos experimentales obtenidos con espectrodensitómetro X-Rite SpectroEye.

Tabla XII. **Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno lechoso para azúcar proveedor a**

	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN		
COLOR PROCESO	**350 m/min**	**300 m/min**	**200 m/min**
NEGRO	1,4	1,44	1,61
CYAN	1,68	1,7	1,57
MAGENTA	1,41	1,46	1,45
AMARILLO	0,99	1,07	1,1

Fuente: datos experimentales obtenidos con espectrodensitómetro X-Rite SpectroEye.

Tabla XIII. **Medición de densidades de color en tintas proceso dadas en polietileno lechoso para azúcar proveedor b**

	VELOCIDAD DE IMPRESIÓN		
COLOR PROCESO	**350 m/min**	**300 m/min**	**200 m/min**
NEGRO	1,4	1,36	1,47
CYAN	1,68	1,61	1,64
MAGENTA	1,41	1,47	1,48
AMARILLO	0,99	0,98	0,98

Fuente: datos experimentales obtenidos con espectrodensitómetro X-Rite SpectroEye.

Tabla XIV. **Densidades teóricas para tintas proceso recomendadas por First**

COLOR	MINIMO	MAXIMO
CYAN	1,5	1,6
MAGENTA	1,4	1,5
AMARILLO	1	1,1
NEGRO	1,65	1,75

Fuente: Gráfica Navarro Grupo Empresarial 2004, Líder Nacional en la Industria Gráfica, FIRST (Flexographic Image Reproduction Specifications and Tolerances). p. 113.

Tabla XV. **Medición rendimiento de materias primas principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas A**

Precio promedio kg tinta solventada	$ Costo de tinta por kilo impreso	Costo de tinta por kilo impreso (Q/kg)
$4,55	$0,36	Q2,81

Fuente: fase experimental apéndice 5 tabla XXII.

Tabla XVI. **Medición rendimiento materias primas principales, principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas A**

kg impresa/kg tinta	m^2 impreso / kg tinta
12,79	15 092,99

Fuente: fase experimental apéndice 5 tabla XXIII.

Tabla XVII. **Medición rendimiento de materias primas principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas B**

Precio promedio kg tinta	$ Costo de tinta por kilo impreso	Costo de tinta por kilo impreso (Q/kg)
$5,51	$0,29	Q2,28

Fuente: fase experimental apéndice 5 tabla XXIV.

Tabla XVIII. **Medición rendimiento de materias primas principales en el proceso de impresión de polietileno para azúcar, proveedor de tintas B**

kg Impresa/kg Tinta	m^2 impreso / kg Tinta
19,06	18 920,51

Fuente: fase experimental apéndice 5 tabla XXV.

- Principales deficiencias que afectan el desempeño y productividad del proceso de impresión de empaque flexible, causas probables y propuesta de acciones correctivas.

  - Adherencia: la tienta no adhiere al sustrato

Figura 6. **Defecto adherencia**

Fuente: guía problemas en flexo.

  - Causas:

    - La formulación de la tinta no es correcta.
    - Bajo nivel de tratamiento.
    - Tinta gelada.
    - Falta de adherencia entre un color y otro.
    - Contaminación de la superficie de la película.
    - Baja viscosidad en la tinta.
    - Montaje de varios colores.
    - Impresión por el lado no tratado de la película.

- Acciones preventivas

  - Asegúrese que la línea de tinta utilizada sea la correcta.
  - Confirme el tratamiento de la película. Utilice tratamiento corona en línea.
  - Aplique un primer apropiado antes de imprimir.
  - Asegúrese que el primer color adhiera apropiadamente y evite el uso de solventes lentos que re-humectan los otros colores.
  - Utilice plumones de tensión superficial para confirmar el lado tratado.

- Acciones correctivas

  - Reemplace con tinta nueva y asegúrese que los solventes utilizados sean los correctos.
  - Ocurre cuando interactúan dos sistemas diferentes de tinta. Reformular.
  - Adicione tinta fresca con alta viscosidad.

- Sangrado: la imagen se reproduce en las áreas no impresas.

Figura 7. **Defecto de sangrado**

Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - Humedad relativa demasiado alta (saturación de solventes)
  - Exceso de retardante en la tinta.
  - Viscosidad de la tinta alta.
  - Volumen de transferencia muy alto
  - Velocidad de la prensa excesivamente alta
  - Uso de pigmentos “sangrantes” o con tendencia a migrar
  - Mucha tinta en las capas ya impresas

- Acciones preventivas

  - Incremente la capacidad del soplador en las estaciones de secado entre unidades o reducir el volumen de aire de recirculación en las mismas estaciones. Prepare nueva tinta con una mezcla de solventes más rápida.
  - Reduzca la velocidad de la prensa / Incremente la velocidad del secado de la tinta.
  - Reduzca el número de colores y cambie a un nuevo diseño.

- Acciones correctivas

  - Prepare nueva tinta utilizando solventes más rápidos.
  - Agregar solvente para reducir la viscosidad
  - Reemplace los rodilllos anilox.
  - Reformule y substituya por pigmentos resistentes.

- Bloqueo: la tinta se adhiere al reverso de la película.

Figura 8. **Defecto de bloqueo**

Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas:
  - Exceso de retardador en la tinta.
  - La temperatura del sustrato es excesivamente alta.
  - Alto nivel de tratamiento en la película.
  - El secado de la tinta es demasiado lento.
  - El volumen de transferencia de la tinta es muy alto.
  - La viscosidad de la tinta es demasiado alta.
  - No funciona el sistema de enfriamiento.
  - Tensión excesiva en el rebobinado.
  - Tratamiento en los dos lados de la película.

- Acciones preventivas

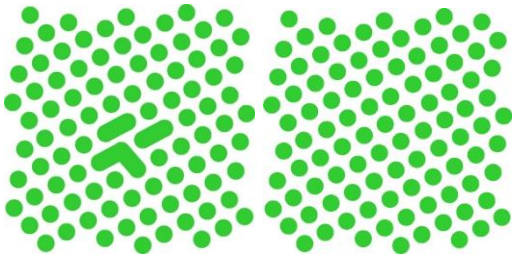
  - Disminuya la temperatura en el túnel de secado y confirme que el sistema de enfriamiento funcione adecuadamente.
  - Confirme el nivel de tratamiento y trate en línea.
  - Incremente la temperatura del túnel de secado entre las unidades. Utilice solmix rápido. Revise su sistema de secado.
  - Cambie los rodillos anilox
  - Es indispensable el sistema de enfriamiento. Evite el sobre-enfriamiento del *chill roll* para no generar humedad por condensación en el interior de la bobina.
  - Reduzca la tensión de rebobinado
  - Confirme que la línea de tintas seleccionada es la apropiada.

- Acciones correctivas

  - Cambie la tinta y reduzca sin o con menos retardador.
  - Reduzca la viscosidad de la tinta añadiendo solvente.

- Punteo bigotes o remosqueo: conexiones de tinta cerrada en los puntos de la impresión.

Figura 9. **Defecto de punteo**



Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - Humedad relativa muy alta (saturación de solvente.
  - Depósito de resina (precipitación), incompatibilidad tinta solmix.
  - Inapropiada elección de solventes.
  - Viscosidad de la tinta muy alta.
  - Volumen de transferencia muy alto.

- Acciones preventivas

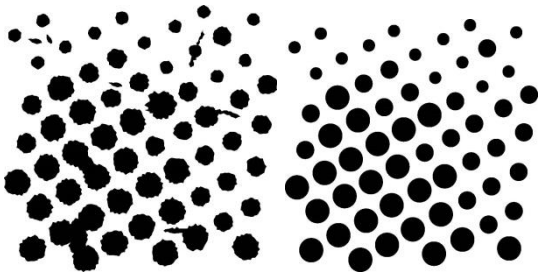
  - Seleccione un rodillo entintador de acuerdo al diseño y material a imprimir.

- Acciones correctivas

  - Prepare nueva tinta. Seleccione adecuadamente el solmix. Incremente la capacidad del soplador en las estaciones de secado entre unidades o reducir el volumen de aire de recirculación en las mismas estaciones.
  - Prepare nueva tinta con solmix apropiado.
  - Vacíe y lave el tanque de tinta y seleccione apropiadamente el solmix.
  - Reduzca la viscosidad con un solmix apropiado.

- Manchado o rebabeo: márgenes irregulares en impresión

Figura 10. **Manchado o rebabeo**



Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - La tinta se seca en la placa.
  - Presión incorrecta entre el rodillo de anilox y el cilindro portaplaca.
  - Viscosidad de la tinta demasiado alta.
  - El material con el que se realiza la limpieza desprende pelusa que se deposita en la placa.
  - Las resinas en la tinta se precipitan a la superficie bajo ciertas circunstancias y se secan sobre la impresión.
  - Mal ajuste de las cuchillas del rodillo de la tinta.

- Acciones preventivas

  - Ajuste la presión.
  - Limpie la placa. Utilice materiales que no suelten pelusa.
  - Evite la tinta pegajosa. Utilice la mezcla de solvente que mantenga las resinas en la solución.
  - Controle la presión de las cuchillas del rodillo de la tinta.

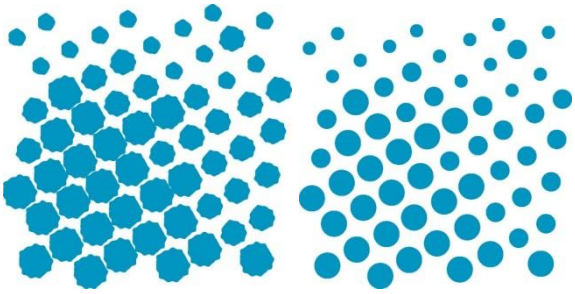
- Acciones correctivas

  - Limpie la placa y ajuste la mezcla de solventes. Añada cuidadosamente un poco de retardador. Asegúrese que no haya ninguna corriente de aire caliente incidiendo sobre la placa.

- Ajuste la viscosidad de la tinta agregando solvente. Verifique los tinteros.

- Emplastamiento del punto: acumulación de tinta alrededor de las áreas de imagen

Figura 11. **Emplastamiento del punto**



Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - El volumen de tinta transferido es muy alto.
  - Presión excesiva entre el rodillo anilox y la placa.
  - Velocidad de la prensa muy baja.
  - Viscosidad de la tinta muy alta (tinta espesa)
  - Mala selección de solventes
  - Excesiva presión entre el cilindro porta-placa y el substrato.
  - Incompatibilidad de la tinta - precipitación de la tinta.
  - Desgaste o deterioro de la placa. El relieve de la placa es muy bajo.
  - Humedad relativa muy alta (humectación)

- Acciones preventivas

  - Cambie el rodillo anilox por uno de mayor lineaje o reduzca el volumen de la celda.
  - Reduzca la presión
  - Incremente la presión del cilindro porta-placa o cambie la placa.

- Acciones correctivas

  - Limpie la placa e incremente la velocidad de la prensa
  - Reduzca la viscosidad
  - Cambie a tinta fresca y haga una mezcla con solventes apropiados
  - Alimente con tinta fresca y filtre la tinta.
  - Corrija la mezcla de solventes – use retardadores apropiados y solventes libres de agua y verifique los sopladores de las unidades de secado.

- Fantasma: ligera imagen en lugar no deseado del diseño.

Figura 12. **Fantasma**

Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - Falta de tinta.
  - La fluidez y la reología de la tinta no son adecuadas.
  - La cuchilla no está instalada adecuadamente.

- Acciones preventivas

  - Instale apropiadamente la cuchilla de la cámara, de tal manera que se garantice el perfecto llenado de las celdas.

- Acciones correctivas

  - Incremente el nivel de tinta y/o la presión dentro de la cámara de la cuchilla. Use un rodillo de anilox de mayor volumen.
  - Agregue retardador para mejorar la fluidez de la tinta.

- Resistencia mecánica de la tinta: las propiedades mecánicas de la tinta no resisten roce a la película.

Figura 13. **Resistencia mecánica de la tinta (a)**

Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - La tinta fue mal formulada o está dañada (precipitación de la tinta, depósito de resinas, mezcla de tintas incompatibles).
  - El volumen de transferencia de la tinta no está adaptado (muy alto o muy bajo).
  - Mala elección de solvente.
  - Tratamiento de superficie muy bajo.

- Acciones preventivas

  - Utilice tinta fresca con una correcta mezcla de solvente (contacte al proveedor de tinta o consulte la ficha técnica)
  - Revise el tratamiento de superficie. Aplique tratamiento de corona si fuera necesario.

- Acciones correctivas

  - Vacíe el depósito de tinta, limpie el sistema de alimentación y cambie la tinta.
  - Cambie el rodillo anilox

- Baja o elevada concentración de tinta: la impresión se ve débil o muy alta al compararla con el estándar.

Figura 14. **Resistencia mecánica de la tinta (b)**

Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - La tinta se seca en los rodillos anilox
  - Falta concentración en la fórmula de la tinta.
  - Viscosidad de la tinta baja.
  - El rodillo anilox está muy gastado o la pantalla es muy fina
  - La tinta se gela
  - La presión del cilindro porta-placa al sustrato, o la del rodillo anilox a la placa no es correcta
  - Prolongado paro de máquina

- Acciones correctivas

  - Limpie los rodillos anilox y añada un retardador a la tinta.
  - Incremente la viscosidad con tinta nueva.
  - Reemplace con tinta nueva y contacte al proveedor.
  - Ajuste la presión.
  - Limpie la placa

- Registro: mal ajuste de colores con relación al estándar

Figura 15. **Registro**

Fuente: guía problemas en flexo.

- Causas

  - Mal montaje de la placa
  - Calor excesivo
  - La tensión de la bobina no es la apropiada
  - Malas características del substrato (variación del espesor, entre otros)

- Acciones correctivas

  - Ajuste correctamente la placa.
  - Reduzca la temperatura de los secadores entre cada color.
  - Ajuste la tensión de la bobina de acuerdo a las características del substrato.
  - Cambie la bobina defectuosa.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Un procedimiento técnico es una serie de pasos a seguir de forma ordenada aplicando mediciones sencillas en la observación y el comportamiento de un proceso. Para elaborar dicho informe fueron necesarias una serie de mediciones y corridas industriales para determinar el rendimiento de las materias primas en el proceso, e identificar incluso rentabilidad en diferentes proveedores, determinando el costo (Q tinta / kg impreso).

El sistema de impresión de empaque flexible es altamente variable, fue por ello que se definieron los KPI para optimizar el proceso de impresión, teniendo en cuenta que esta optimización depende en gran medida de la buena utilización y estandarización de sus materias primas (según certificados de los correspondientes proveedores).

El procedimiento técnico se dividió en 2 pasos sencillos que ayudaron a identificar las áreas de mejora en el proceso de impresión, asimismo, elaborar una serie de acciones correctivas para evitar inconformidades y optimizar el proceso.

El primer paso fue una comparación de las características de las principales materias primas como: la película de polietileno (sustrato), tintas y solventes. Se evalúo que estas características fueran constantes y no existiera variabilidad, según certifican los correspondientes proveedores. Ya que de esto depende en gran manera la optimización del proceso.

El segundo paso de la investigación, se basó en la medición de características como: calibre en el caso de la película, cantidad de película utilizada, densidad de color (medido con Specto Eye X-rite), viscosidad inicial y de trabajo para tintas, rendimiento de la tinta para diferentes proveedores, mezclas de solmix (solventes) a utilizar.

En el caso del sistema de impresión de empaque flexible, la materia prima más variable dentro del proceso es la tinta, puesto que presenta una deformación durante el proceso debido a su reo logia y variación en viscosidades, es por ello que dentro del proceso de optimización fue necesario elaborar una comparación de funcionalidad entre 2 proveedores, bajo las mismas condiciones de velocidad de impresión. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XIX. **Resultados rendimiento proveedor A**

kg Impreso/kg Tinta	**m^2 impreso/kg Tinta**
12,79	15 092,99

Fuente: fase experimental, elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados rendimiento proveedor B**

kg Impresa/kg Tinta	**m^2 impreso/kg Tinta**
19,06	18 920,51

Fuente: fase experimental, elaboración propia.

Asimismo, se definieron densidades de color teóricas, según estándares de expertos de impresión, concluyendo que el proveedor A presentó valores más cercanos a estos, de acuerdo a valores experimentales obtenidos.

Figura 16. **Densidades teóricas para tintas proceso recomendadas por First**

Cyan: 1,50 - 1,60
Magenta: 1,40 - 1,50
Amarillo: 1,00 - 1,10
Negro: 1,65 - 1,75

Fuente: Gráfica Navarro Grupo Empresarial 2004, Líder Nacional en la Industria Gráfica, FIRST (Flexographic Image Reproduction Specifications and Tolerances). p. 113.

Fue necesaria la identificación de los principales problemas obtenidos en el proceso de impresión de empaque flexible, proponiendo acciones correctivas como variación en las mezclas de solventes, para el buen secado de la tinta en la película. Esto se identificó en base a la velocidad de secado a requerir, por la variación de temperatura en el proceso.

Tabla XXI. **Mezclas de solmix (solvente) a utilizar en el proceso de impresión de empaque flexible**

Lento	80 % propanol/20 % IPA
Medio	40 % propanol/40 % etanol/20 % IPA
Rápido	80 % etanol/20 % IPA

Fuente: elaboración propia. En función de tasas de secado.

CONCLUSIONES

1. Los principales KPI identificados para el proceso de impresión de empaque flexible aplicado a la impresión de empaque de polietileno para azúcar fueron los siguientes: establecimiento de tiempo y número de arranques de corridas industriales para llegar al color requerido según estándar, estandarización en el calibre de la película, evaluación de la densidad de color en prensa, rendimiento de tinta (kg impreso/kg de tinta), rentabilidad de la tinta solventada, costo de tinta (Q tinta/kg impreso).

2. La cantidad de tinta aplicada en la película es inversamente proporcional al calibre de la película.

3. Para la obtención de un buen cubrimiento de color en la película es necesario un gramaje de tinta (g/m^2) de 0,58, para calibres de película menores (1,8 milésimas de pulgada).

4. Para la obtención de un buen cubrimiento de color en la película es necesario un gramaje de tinta (g/m^2) de 0,46. para calibres de película mayores (2 milésimas de pulgada).

5. El proveedor A de tintas, se acerca más a los valores estándar de densidad de color, que el proveedor B.

6. El proveedor B de tintas, obtiene mayor rendimiento en (m^2 impreso / kg de tinta), pero menor densidad de color.

RECOMENDACIONES

1. Es importante hacer uso del procedimiento técnico para que se dé el manejo adecuado y optimización en el proceso de impresión de empaque flexible.

2. Es importante el uso y validación de las características de las principales materias primas que ingresan al proceso de impresión de empaque flexible, de acuerdo a certificado de calidad dado por el proveedor.

3. Es importante la evaluación constante de densidades de color en prensa, de acuerdo a las recomendadas, para obtener una excelente calidad de impresión.

4. Es necesario el ejercicio de validación en el rendimiento de tintas (m^2 impreso / kg de tinta), para validar rentabilidad de la operación.

5. Es necesaria la estandarización de colores y densidad de colores en máquina, para la disminución de defectos de impresión, comparando el ingreso de las materias primas (tintas) con el certificado de calidad dado por el proveedor.

6. Es necesario como acción preventiva, elaborar una receta de impresión, para las referencias impresas de empaque para azúcar, tomando en cuenta las principales variables descritas en los KPI, a fin de disminuir los problemas de impresión detectados.

7. Para la disminución de defectos de impresión, es necesario la revisión de la mezcla de solventes utilizada, según tasa de evaporización y velocidad de secado requerida. Según mezcla siguiente:

Lento	80 % propanol/20 % IPA
Medio	40 % propanol/40 % etanol/20 % IPA
Rápido	80 % etanol/20 % IPA

Fuente: elaboración propia. En función de tasas de secado.

BIBLIOGRAFÍA

1. COULSON; RICHARDSON. *Chemical engineering desing*. 4a ed. EEUU: Wiley Editorial. 1988. 1045 p. Vol. 6.

2. Gráfica Navarro Grupo Empresarial 2004, Líder Nacional en la Industria Gráfica, FIRST (Flexographic Image Reproduction Specifications and Tolerances), Editorial Navarro, México D.F. 330 p.

3. JIMÉNEZ GUTIÉRREZ, Arturo. *Diseño de procesos en ingeniería química*. México: Reverté. 2003. 257 p.

4. PETERS, Max S. *Desing and economics for chemical engineers*. 4a ed. EEUU: McGraw Hill. 2004. 988.

5. SMITH, Robin. *Chemical process desing and integration*. 2a ed. EEUU: Wiley. 685 p.

6. WARREN D., Seider. *Product and process desing principles*. 2a ed. EEUU: Wiley Editorial. 728 p.

APÉNDICES

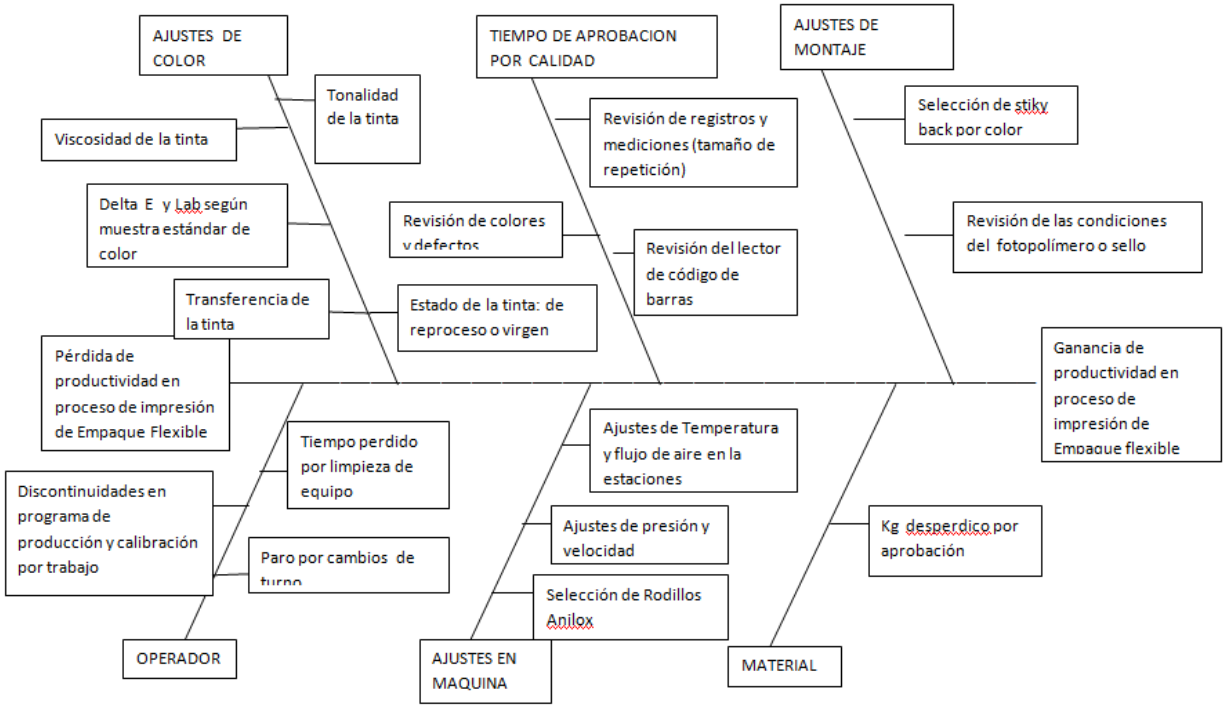
Apéndice 1.

Requisitos académicos

Área	Cursos
Química	Química 1
	Química Orgánica 1
	Análisis Cuantitativo
Fisicoquímica	Fisicoquímica 1
Operaciones Unitarias	Balance de Masa y Energía (IQ 1)
Área de especialización	Proceso Químicos Industriales
	Ingeniería Económica 3
	Diseño de Equipo
Ciencias Básicas y Complementarias	Matemática Básica 1
	Estadística 1

Fuente: *Pensum* de estudios Ingeniería Química

Apéndice 2. Diagrama Causa – Efecto (Árbol de Problemas)



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Cronograma

Cronograma de actividades para la ejecución del presente trabajo de investigación

Mes	1				2				3				4				5			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividad																				
Revisión de los principales valroes estándar para las entradas de materia prima en el proceso de impresión flexográfico.																				
Elaboración de un balance de masa y energía para el proceso de impresión Flexográfico.																				
Revisión de los principales defectos que afectan el proceso de impresión flexográfico.																				
Revisión de las causa y aplicación de acción correctivas en la optimizacón del proceso de impresión de Empaque Flexible.																				
Identificación de los principales indicadores clave de desempeño en el proceso de impresión flexográfico.																				

Fuente: elaboración propia. Basado en los tiempos estimados para esta investigación.

Apéndice 4. Presupuesto

Costos

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (Q)	Valor Total (Q)
Servicio de Asesor (6 meses)	1	8 600	51 600
Servicio de Coasesor (6 meses)	1	7 500	45 000
Bata	1	100	100
Computador (Marca hp) office 2007	1	3 500	3 500
Hojas de Papel para Imprimir	100	0,50	50
Impresora (Marca Canon IP 2700)	1	900	900
Cámara de foto (Marca Samsung)	1	600	600
Tinta líquida base solvente (varios colores)	100 kg	32	3 200
Material de Polietileno para imprimir	1 000 m^2	17,60	1 760
Cronómetro	1	15	15
Marcador	1	7	7
Balanza Analítica (6 meses)	1	100	100
Cuchilla	1	4	4
Solvente para reducir viscosidad (80/20 propanol/acetato)	300 kg	16,40	4 920
Copa Zhan 2 para medir viscosidad	1	1 600	1 600
Par de Zapatos de Seguridad	1	300	300
Lapiceros	3	0.50	1,50
De Solvente para lavado de equipo	200 kg	8	1 600
Gasolina	48 Gal	35	1 680
Cuaderno de Apuntes	1	5	5
Impresora Marca Miraflex (6 meses)	1	3 200	19 200
Total			95 642,5

Fuente: elaboración propia.

Apéndice V. Cálculo del rendimiento de acuerdo a la entrada de las principales materias primas y salida de producto terminado en el proceso de impresión de empaque Flexible para Polietileno de Azúcar

Cálculo del rendimiento de tinta (COSTO Q/kg impreso) para proveedor A

Color	Anilox	BCM´s	Viscosidad Inicial (segundos Zhan 2)	Viscosidad de trabajo (segundo Zhan 2)	Tinta Virgen (Kg)	Solvente Kg	Devolución (tinta pura Kg)	Devolución (tinta solventata Kg)	Consumo (Kg)
BLANCO	280	5	41,50	19,80	21,00	15,59	0,84	7,40	28,35
AMARILLO	400	7	31,60	27,19	17,00	3,90	0,00	13,88	7,02
MAGENTA	700	2	37,30	31,10	17,00	3,90	1,92	13,88	5,10
CYAN	600	3	45,60	26,00	17,00	7,80	6,48	10,70	7,62
VERDE	300	2	37,00	24,00	17,00	11,70	5,84	9,66	13,20
REFLEX	500	6	53,00	26,00	17,00	3,90	0,76	14,98	0,16
					106,00	**46,78**	**15,84**	**70,50**	**66,44**

Fuente: fase experimental, cálculo de rendimiento.

Cálculo del rendimiento de tinta (COSTO Q/kg impreso) para proveedor A

Precio Tinta Virgen ($/Kg)	Precio solvente ($)	Costo Total Tinta ($)	Costo Total Solvente ($).	Costo Tinta Solventada ($)	Costo Total de Consumo ($)	Kg Impresa/Kg Tinta	m^2 impreso / Kg Tinta
4,97	2,01	100,20	31,34	30,21	101,33	29,98	687,01
5,64	2,01	95,88	7,84	63,17	40,55	121,12	2,775,45
6,53	2,01	98,47	7,84	71,82	34,49	166,74	3,820,66
6,70	2,01	70,48	15,67	56,64	29,52	111,61	2,557,42
6,94	2,01	77,45	23,51	52,75	48,20	64,43	1,476,24
8,61	2,01	139,83	7,84	99,32	48,34	164,80	3,776,22
		$582,31	**$94,03**	**$373,90**	**$302,44**	**12,79**	**15,0999**

Fuente: fase experimental, cálculo de rendimiento.

Cálculo del rendimiento de tinta (COSTO Q/Kg impreso) para proveedor B

Estación	Descripción	Anilox	BCM´s	Viscosidad Inicial (segundos Zhan 2)	Viscosidad de trabajo (segundo Zhan 2)	Tinta Virgen (Kg)	Solvente Kg	Devolución (tinta pura Kg)	Devolución (tinta solventada Kg)	Consumo (Kg)
1	BLANCO	280	15	52,00	21,00	16,00	9,20	1,58	9,74	13,88
2	AMARILLO	400	7	55,00	26,00	13,00	3,94	0,00	10,76	6,18
4	MAGENTA	700	2	47,00	23,00	13,00	5,26	0,00	14,12	4,14
5	CYAN	600	3	50,00	25,00	13,00	3,94	0,00	13,32	3,62
6	VERDE	300	12	38,00	25,00	13,00	3,94	0,00	10,62	6,32
7	REFLEX	500	6	61,00	25,00	13,00	7,88	0,00	11,74	9,14
8										
TOTAL						**81,00**	**34,16**	**1,58**	**70,30**	**43,28**

Fuente: fase experimental, cálculo de rendimiento.

Cálculo del rendimiento de tinta (COSTO Q/Kg impreso) para proveedor B

Precio Tinta Virgen ($/Kg)	Precio solvente ($)	Costo Total Tinta ($)	Costo Total Solvente ($).	Costo Tinta Solventada ($)	Costo Total de Consumo ($)	Kg Impresa/Kg Tinta	m^2 impreso / Kg Tinta
4,85	2,01	77,60	18,49	38,94	57,15	59,45	1 337,59
5,66	2,01	73,58	7,92	49,12	32,38	133,46	3 002,74
7,23	2,01	93,99	10,56	79,98	24,58	199,50	4 488,48
7,00	2,01	91,00	7,92	73,30	25,62	227,80	5 125,33
7,65	2,01	99,45	7,92	63,27	44,10	130,51	2 936,24
9,61	2,01	124,93	15,84	86,05	54,72	90,23	2 030,12
		$560,55	**$68,66**	**$390,66**	**$238,55**	**19,06**	**18 920,51**

Fuente: fase experimental, cálculo de rendimiento.