Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Correlación de anilox utilizando el equipo RK Proofer en una empresa de empaques flexibles

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

David Arturo ARIAS ORTIZ

ASESOR

Jorge Luis CÁRDENAS RUIZ

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Arias, D. (2026). *Correlación de anilox utilizando el equipo RK Proofer en una empresa de empaques flexibles*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	David Arturo Arias Ortiz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75625471
URL de ORCID	**No aplica**
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge Luis Cárdenas Ruiz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06627695
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9313-905X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Fernandes de Oliveira Ugarte
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	48755147
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Pedro José Romero y Otiniano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	15612279
Datos de investigación	
Línea de investigación	Optimización de procesos
Grupo de investigación	No aplica

Agencia de financiamiento	No aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Lima, Pérú
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2026
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.00

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "VI Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2026-I", bajo la Presidencia del **Dr. José Fernandes De Oliveira Ugarte;** el **Ing. Pedro José Romero Y Otiniano (Miembro)** y el **Ing. Jorge Luis Cárdenas Ruíz (Asesor);** habiendo presentado para tal efecto **el TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL,** titulado **"Correlación de anilox utilizando el equipo RK Proofer en una empresa de empaques flexibles",** después de **SUSTENTADO Y APROBADO** el trabajo de suficiencia profesional elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: **ARIAS ORTIZ, DAVID ARTURO;** para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERO QUÍMICO,** acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

Quince 15

(LETRAS) (NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 20 de junio del 2026

Dr. JOSÉ FERNANDES DE OLIVEIRA UGARTE
Presidente

Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO
Miembro

Ing. JORGE LUIS CÁRDENAS RUÍZ
Asesor

Dr. EDER CLIDIO VICUÑA GALINDO
Director de la E.P. de Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS • ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA • Facultad de Química e Ingeniería Química

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **JORGE LUIS CÁRDENAS RUÌZ** en mi condición de asesor con el Dictamen N°000008-2026-EPIQ-FQIQ/UNMSM del trabajo de suficiencia profesional cuyo título es: **Correlación de anilox utilizando el equipo RK Proofer en una empresa de empaques flexibles,** presentado por el bachiller: **ARIAS ORTIZ, DAVID ARTURO,** para optar el título Profesional de Ingeniero Químico.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 3% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título Profesional de Ingeniero Químico.

Lima, 1 de setiembre del 2026

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor **JORGE LUIS CÁRDENAS RUÌZ**
DNI: **06627695**

La vigencia del presente certificado corresponde a un periodo de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

Tabla de contenido

RESUMEN v
1. INTRODUCCIÓN 1
2. FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD 2
2.1. **Finalidad** 2
2.2. **Objetivos** 2
2.2.1. Objetivo general 2
2.2.2. Objetivos específicos 3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 4
3.1. **Planteamiento del problema** 4
3.1.1. Determinación del problema 4
3.1.2. Formulación del problema 4
3.2. **Justificación** 5
4. MARCO TEÓRICO 7
4.1. **Impresión flexográfica** 7
4.2. **Sistema de entintado en flexografía** 7
4.3. **Velocidad de impresión** 8
4.4. **Viscosidad** 8
4.5. **Rodillo anilox** 9
4.6. **Estado del anilox** 10
4.7. **Control de color y repetibilidad** 10
4.8. **Laboratorio de tintas** 11
4.9. **RK Printer Proofer** 11
4.10. **Correlación entre anilox y RK Printer Proofer** 12
4.11. **Densidad Colorimétrica** 13
5. FLUJO DE PRODUCCIÓN 15
5.1. **Preparación de tintas** 15
5.2. **Abastecimiento de tintas** 16
5.3. **Despeje de línea (recojo de tintas)** 16
6. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN 18
6.1. **Enfoque metodológico** 18
6.2. **Definición de variables** 18
6.2.1. Variable dependiente 18
6.2.2. Variables independientes 18
6.3. **Diseño experimental** 19
6.4. **Análisis estadístico aplicado** 19

6.4.1. Estadística descriptiva 19
6.4.2. Análisis de correlación lineal múltiple 19
6.4.3. Modelo de regresión lineal múltiple 20
6.4.4. Prueba de hipótesis 20
6.5. **Criterios de validación del sistema RK Printer Proofer** 20
6.6. **Interpretación estadística del proceso** 21
7. RESULTADOS 22
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 30
8.1. **Análisis general del modelo de regresión** 30
8.2. **Influencia de la viscosidad** 30
8.3. **Influencia de la velocidad de impresión** 30
8.4. **Influencia del relieve** 31
8.5. **Influencia del LPI** 31
8.6. **Influencia del estado del anilox** 31
8.7. **Interacción velocidad-viscosidad** 32
8.8. **Disminución de los tiempos de aprobación y número de intentos** 32
9. CONCLUSIONES 33
10. RECOMENDACIONES 35
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37
12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES 39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos recopilados de impresoras (Comexi y Miraflex) 22
Tabla 2 Estadísticas de la regresión 25
Tabla 3 Anova 25
Tabla 4 Coeficientes (Tabla clave) 26

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Equipo RK Print (elaboración propia) 12
Ilustración 2 Placa RK Print 175 lpi (elaboración propia) 12
Ilustración 3 Espectrodensitómetro X-rite (vía web: https://www.xrite.com/es/categories/portable-spectrophotometers/exact-family-gen-1) 14
Ilustración 4 Formato de conformidad 16
Ilustración 5 Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial por máquina 2025 26
Ilustración 6 Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por matizador 2025 26
Ilustración 7 Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por mes (2025) 27
Ilustración 8 Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial por máquina primer trimestre 2026 27
Ilustración 9 Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por matizador primer trimestre 2026 27
Ilustración 10 Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por mes primer trimestre 2026 28
Ilustración 11 Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de abril 2026 28
Ilustración 12 Número de intentos promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de abril 2026 29
Ilustración 13 Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de mayo 2026 29
Ilustración 14 Número de intentos promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de mayo 2026 29

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló en Emusa Perú S.A.C., empresa dedicada a la fabricación de empaques flexibles, donde se identificó que el proceso de aprobación de tintas especiales en el área de impresión demandaba tiempos elevados y varios intentos en máquina para alcanzar la densidad de color requerida. Esta situación ocasionaba paradas de producción, mayor consumo de tinta y sustrato, así como un incremento en la carga operativa del personal, una condición que se volvió más crítica con el aumento del volumen de producción y la incorporación de una nueva prensa flexográfica.

Con el fin de optimizar este proceso, se propuso implementar una metodología basada en el uso del RK Print Proofer, capaz de anticipar el comportamiento de los anilox antes de iniciar la producción. Para ello, se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple que relacionó variables del proceso, como la lineatura y el volumen del anilox, la viscosidad de la tinta y la velocidad de impresión, con la densidad óptica obtenida. Posteriormente, los resultados obtenidos en laboratorio fueron comparados con los registrados en la prensa flexográfica mediante parámetros como la densidad, la ganancia de punto y la uniformidad de impresión.

Los resultados demostraron que el modelo presentó un alto poder predictivo, alcanzando coeficientes de determinación (R^2) entre 0.88 y 0.99, lo que confirma su capacidad para representar el comportamiento de la impresión en condiciones reales de producción. Asimismo, la implementación de la metodología permitió reducir el tiempo promedio de aprobación de tintas especiales de aproximadamente 22 a 16 minutos y disminuir el número de intentos necesarios hasta un promedio cercano a tres por trabajo.

En conjunto, estos resultados evidencian que la metodología propuesta constituye una alternativa técnica confiable y aplicable para optimizar la aprobación de tintas especiales en impresión flexográfica. Su implementación contribuye a reducir los tiempos de preparación, minimizar el consumo de materiales y mejorar la eficiencia operativa, proporcionando además una herramienta de apoyo para una toma de decisiones más rápida y precisa durante el proceso de impresión.

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo analizar la relación existente entre las características del rodillo anilox y los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio mediante el equipo RK Printer Proofer que permite simular la transferencia tinta-sustrato en condiciones controladas.

Este estudio surge debido a la necesidad de predecir el comportamiento real de la tinta antes de iniciar la producción, permitiendo reducir desperdicios de material, tiempos de ajuste en máquina y variaciones de color durante el proceso de impresión flexográfica.

La metodología propuesta se basa en la realización de pruebas controladas utilizando diferentes configuraciones de anilox, variando parámetros como lineatura (lines for inch=LPI) y volumen de celda (Billion Cubic Microns=BCM). Durante estas pruebas se utilizará una placa de impresión de 175 LPI evaluarán variables como densidad colorimétrica, uniformidad de impresión y estabilidad del color. Posteriormente, los resultados serán comparados con datos obtenidos en condiciones reales.

2. FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD

La empresa EMUSA cuenta con más de 40 años de trayectoria ofreciendo soluciones de empaques flexibles de alta calidad, dirigidas a los sectores alimentario, no alimentario y agrícola. Dispone de cuatro plantas de producción ubicadas en Brasil, El Salvador, Guatemala y Perú, y comercializa sus productos en más de veintidós países. Sus principales mercados de venta abarcan los sectores papelero, químico, agroindustrial, energético y de gestión portuaria. Además, la organización posee certificaciones internacionales como SQF, FSSC 22000, SMETA e ISO 9001:2015, lo que respalda su compromiso con la calidad y la seguridad. La empresa se enfoca en la distribución de empaques y bolsas industriales, diseñados para satisfacer las necesidades de embalaje de diversas industrias.

2.1. **Finalidad**

La finalidad de esta actividad es analizar y comprender la relación existente entre las características del rodillo Anilox y los resultados obtenidos en el equipo RK Printer Proofer. A través de este estudio se busca evaluar cómo la lineatura, el volumen y el estado del Anilox influyen directamente en la transferencia de tinta, la densidad, la uniformidad y la reproducibilidad de las pruebas de impresión. Este análisis permite establecer parámetros confiables que faciliten la estandarización del proceso y la correcta interpretación de las pruebas realizadas en el laboratorio.

2.2. **Objetivos**

2.2.1. Objetivo general

Establecer la correlación técnica entre las características del rodillo anilox y los resultados obtenidos mediante el equipo RK Print Proofer, con el fin de optimizar la transferencia de tinta y la calidad de impresión en procesos flexográficos.

2.2.2. Objetivos específicos

- Describir el funcionamiento y aplicaciones del RK Print Proofer en pruebas de laboratorio.
- Determinar la relación entre resultados de laboratorio y comportamiento en máquina de impresión flexográfica.
- Identificar variables críticas que afectan la correlación entre prueba y producción (viscosidad, presión, velocidad, sustrato, tinta).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

3.1. Planteamiento del problema

3.1.1. Determinación del problema

En EMUSA, empresa dedicada a la fabricación de empaques flexibles, se vienen presentando frecuentes tiempos de parada en producción y múltiples intentos para lograr la aprobación de nuevos trabajos en el área de impresión. Esta situación genera incremento en desperdicio de tinta y sustrato, mayor tiempo de ajuste en máquina y sobrecarga operativa, especialmente ante el aumento sostenido de la demanda y la reciente incorporación de una nueva máquina de impresión.

Uno de los factores que influye en esta problemática es la falta de una metodología técnica que permita predecir el desempeño real del anilox considerando incluso su nivel de desgaste o degradación antes de ser utilizado en producción. Actualmente, las decisiones sobre selección de anilox y aprobación de trabajos dependen en gran medida de pruebas directas en prensa, lo que incrementa los intentos hasta alcanzar el estándar de calidad requerido.

En ese contexto, surge la necesidad de implementar una correlación técnica entre los anilox utilizados en producción y las pruebas realizadas con el equipo de laboratorio RK Proofer, con el fin de anticipar resultados y reducir la variabilidad del proceso.

3.1.2. Formulación del problema

¿Cómo implementar una correlación entre los rodillos anilox y el equipo de laboratorio RK Proofer que permita predecir el desempeño y nivel de degradación del anilox antes de su uso en producción, reduciendo así el

número de intentos y los tiempos de aprobación en el área de impresión de EMUSA?

3.2. **Justificación**

Esta investigación se justifica por la necesidad de mejorar la estabilidad y el control del proceso de impresión flexográfica en la fabricación de empaques flexibles en EMUSA Perú. En la práctica diaria, uno de los principales retos es mantener una reproducción de color consistente y una impresión uniforme entre distintos lotes de producción. Cuando esto no se logra, se generan ajustes constantes en máquina que incrementan los tiempos de arranque, el consumo de tinta y el desperdicio de material, afectando la eficiencia del proceso y los costos operativos.

En este contexto, resulta fundamental comprender con mayor claridad la relación entre el rodillo anilox y los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas con el equipo RK Printer Proofer. Contar con una correlación técnica confiable permite anticipar el comportamiento real de la tinta en máquina, reduciendo la dependencia de ajustes empíricos y brindando una referencia más precisa antes de iniciar la producción.

Asimismo, esta investigación no busca realizar cambios estructurales en los equipos ni modificar el proceso productivo existente, sino generar información técnica que sirva como apoyo para una mejor toma de decisiones. La evaluación de parámetros como densidad, ganancia de punto y uniformidad de sólidos, comparando los resultados de laboratorio con los obtenidos en producción, permitirá establecer criterios más claros para la selección del anilox adecuado según el diseño, el sustrato y el tipo de tinta.

Desde un enfoque práctico, los resultados de este estudio pueden contribuir a mejorar los arranques de trabajo, reducir reprocesos y aumentar la confiabilidad de las pruebas de laboratorio como herramienta de soporte para las áreas de preprensa, laboratorio y producción. De esta

manera, la investigación aporta valor técnico a la empresa, fortaleciendo la estandarización del proceso de impresión flexográfica y promoviendo una mayor consistencia en la calidad final del producto.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Impresión flexográfica

La impresión flexográfica es un proceso de impresión directa que se caracteriza por el uso de planchas flexibles en relieve y tintas de secado rápido. Este sistema ha ganado una amplia aceptación en la industria del empaque debido a su capacidad para imprimir sobre una gran variedad de sustratos, como papel, cartón, películas plásticas y materiales laminados. Su versatilidad y eficiencia productiva la convierten en una de las tecnologías más utilizadas en la actualidad (Kipphan, 2001; Mangin, 2014).

No obstante, la flexografía presenta desafíos importantes en cuanto al control del proceso, especialmente en lo relacionado con la estabilidad del color y la repetibilidad de los resultados. La literatura técnica señala que, debido a las altas velocidades de impresión y a la naturaleza flexible de las planchas, cualquier variación en el sistema de entintado puede generar diferencias visibles en el producto final. Por esta razón, el control de las variables del proceso es considerado un aspecto crítico para garantizar la calidad de impresión (Flexographic Technical Association [FTA], 2018; Harper, 2000).

4.2. Sistema de entintado en flexografía

El sistema de entintado flexográfico tiene como función principal suministrar una cantidad uniforme y controlada de tinta a la plancha de impresión. Este sistema está compuesto por el rodillo anilox, la cámara de rasquetas y la tinta, elementos que deben trabajar de manera coordinada para asegurar una transferencia estable. Una correcta configuración del sistema de entintado permite obtener una cobertura adecuada y una reproducción de color consistente (Harper, 2000; Bould, 2015).

Diversos estudios indican que las variaciones en el sistema de entintado son una de las principales causas de problemas de calidad en flexografía. Factores como la presión de contacto, la viscosidad de la tinta y el estado del anilox influyen directamente en la cantidad de tinta transferida. Por ello, se considera fundamental establecer procedimientos de control que permitan minimizar estas variaciones y asegurar la repetibilidad del proceso (FTA, 2018; Mangin, 2014).

4.3. Velocidad de impresión

La velocidad de impresión representa una de las variables operacionales más importantes dentro de la flexografía, debido a que influye directamente en la productividad, transferencia de tinta y capacidad de secado. Esta variable se expresa generalmente en metros por minuto (m/min) y determina la rapidez con la que el sustrato atraviesa las diferentes estaciones de impresión. A mayores velocidades, el tiempo de contacto entre el anilox, la plancha y el sustrato disminuye, lo que puede modificar la cantidad de tinta transferida y afectar la estabilidad del color (Kipphan, 2001).

Además, velocidades elevadas pueden ocasionar problemas relacionados con el secado insuficiente de las tintas, atrapamiento de solventes, ganancia de punto y defectos de registro. Por el contrario, velocidades demasiado bajas pueden reducir la eficiencia del proceso y aumentar costos operativos. Por esta razón, la velocidad de impresión debe ajustarse considerando variables como la viscosidad, el tipo de sustrato, el sistema de secado y las características del anilox utilizado en producción (Flexographic Technical Association, 2013; Miraclon, 2021).

4.4. Viscosidad

La viscosidad de la tinta constituye una propiedad reológica fundamental en impresión flexográfica, ya que determina la capacidad de flujo y transferencia de la tinta durante el proceso de impresión. Una viscosidad

adecuada favorece una correcta transferencia desde el anilox hacia la plancha y posteriormente al sustrato, permitiendo obtener una impresión uniforme y estable. Sin embargo, variaciones en esta propiedad pueden provocar problemas de secado, suciedad, salpicado o diferencias de densidad entre muestras impresas (Flint Group, 2018; Siegwerk, 2020).

La viscosidad también se ve influenciada por factores como la temperatura, evaporación de solventes y velocidad de impresión. En producciones de alta velocidad, la pérdida acelerada de solventes puede incrementar la viscosidad de la tinta y afectar el desempeño del sistema de impresión. Debido a ello, es importante realizar controles periódicos utilizando equipos como copas Zahn o viscosímetros, con el objetivo de mantener condiciones estables de operación y garantizar la repetibilidad del color durante todo el tiraje (Kipphan, 2001; Flexographic Technical Association, 2013).

4.5. **Rodillo anilox**

El rodillo anilox es el componente encargado de dosificar la tinta en el proceso flexográfico mediante microceldas grabadas en su superficie. Estas celdas se definen por su lineatura, volumen y geometría, siendo el volumen de tinta uno de los parámetros más relevantes para la reproducción del color. El volumen del anilox se expresa comúnmente en cm^3/m^2 y determina la cantidad de tinta que será transferida a la plancha (Bould, 2015; Anderson & Hrehor, 2012).

En la práctica industrial, pequeñas variaciones en el volumen del anilox pueden generar diferencias significativas en la densidad óptica y el tono final del impreso. Además, el desgaste y la contaminación de las celdas pueden afectar la eficiencia de transferencia de tinta. Por esta razón, el control, la limpieza y la correcta selección del anilox se consideran aspectos fundamentales para lograr estabilidad y calidad en la impresión flexográfica (FTA, 2018; Kipphan, 2001).

4.6. Estado del anilox

El estado del anilox es otra variable crítica en el proceso flexográfico, debido a que este componente es responsable de dosificar y transferir la tinta hacia la plancha de impresión. La capacidad de transferencia del anilox depende directamente de las condiciones físicas de sus celdas, incluyendo el volumen, geometría y nivel de desgaste superficial. Un anilox en buen estado permite mantener una transferencia uniforme de tinta y una adecuada estabilidad cromática durante la producción (Harper Corporation, 2018).

Sin embargo, el desgaste progresivo, taponamiento de celdas o daños mecánicos pueden reducir significativamente la capacidad de transferencia de tinta, ocasionando pérdidas de densidad, inconsistencias de color y defectos visuales en el impreso. Debido a ello, las inspecciones periódicas y los programas de limpieza preventiva son fundamentales para prolongar la vida útil del anilox y garantizar resultados consistentes en impresión flexográfica (Apex International, 2020; Flexographic Technical Association, 2013).

4.7. Control de color y repetibilidad

El control de color en flexografía tiene como objetivo asegurar que los tonos impresos se mantengan constantes a lo largo del tiempo y entre diferentes tirajes de producción. Para ello, se emplean instrumentos de medición como espectrodensitómetros, el cual permite evaluar parámetros como densidad óptica, valores cromáticos y diferencias de color. Estos instrumentos son esenciales para la toma de decisiones técnicas durante el proceso de impresión (ISO, 2013; Harper, 2000).

La repetibilidad del color está estrechamente relacionada con la estabilidad del sistema de entintado y el estado del anilox. Cuando estas variables no se controlan adecuadamente, se generan desviaciones que afectan la consistencia del producto final. Por este motivo, la literatura

especializada destaca la importancia de implementar métodos de prueba y simulación que permitan evaluar el comportamiento del color antes de la producción en prensa (Kipphan, 2001; Bould, 2015).

4.8. Laboratorio de tintas

El laboratorio de tintas cumple un rol estratégico dentro de la empresa flexográfica, ya que es el espacio donde se desarrollan, ajustan y aprueban los colores antes de su implementación en producción. Un laboratorio bien gestionado permite reducir tiempos de ajuste en prensa, minimizar desperdicios y mejorar la eficiencia operativa. Además, facilita la estandarización de los colores y el cumplimiento de los requisitos del cliente (Bould, 2015; Mangin, 2014).

Para que las pruebas realizadas en laboratorio sean realmente efectivas, deben reproducir de la manera más fiel posible las condiciones reales de impresión. Esto implica controlar variables como el tipo de sustrato, la viscosidad de la tinta y el volumen de anilox. La correcta correlación entre laboratorio y producción se considera un factor clave para garantizar resultados confiables y repetibles (FTA, 2018; Kipphan, 2001).

4.9. RK Printer Proofer

El RK Printer Proofer es un equipo diseñado para simular el proceso de impresión flexográfica a escala de laboratorio. Su principal característica es el uso de rodillos anilox reales, lo que permite reproducir de manera más precisa la transferencia de tinta propia de la flexografía. Además, el equipo permite controlar variables como presión, velocidad y viscosidad de tinta, lo que contribuye a la repetibilidad de los resultados (RK PrintCoat Instruments, 2023; Bould, 2015).

Gracias a estas características, el RK Printer Proofer se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada en laboratorios de control de

calidad e investigación y desarrollo. Diversos estudios aplicados indican que, cuando se controlan adecuadamente las variables del proceso, los resultados obtenidos con este equipo presentan una alta correlación con la impresión en prensa, lo que lo hace especialmente útil para la aprobación de color y el desarrollo de tintas (Mangin, 2014; Anderson & Hrehor, 2012) (ver ilustración.1).

Ilustración 1

Equipo RK Print (elaboración propia)

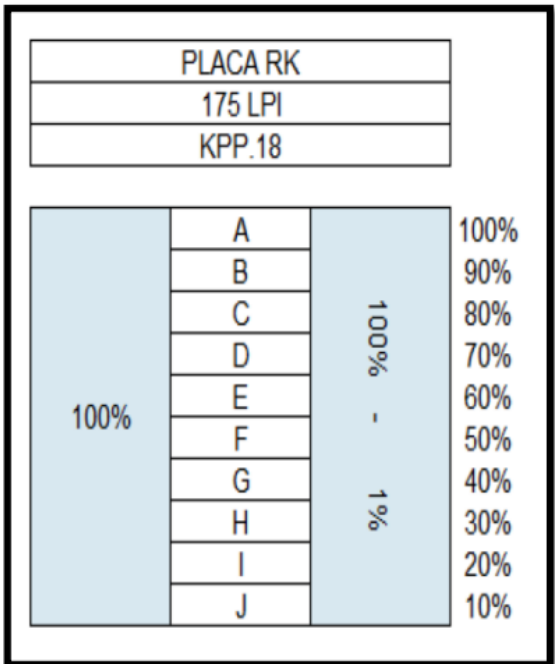


4.10. Correlación entre anilox y RK Printer Proofer

La correlación entre el anilox de producción y el anilox utilizado en el RK Printer Proofer consiste en lograr que la cantidad de tinta transferida en laboratorio sea equivalente a la utilizada en prensa utilizando una placa de 175 lpi para encontrar la ubicación del relieve en función del anilox. Idealmente, se emplean anilox con la misma lineatura y volumen; sin embargo, cuando esto no es posible, se realizan ajustes en variables como la presión aplicada o la viscosidad de la tinta para compensar las diferencias (Bould, 2015; RK PrintCoat Instruments, 2023) (ver ilustración 2).

Ilustración 2

Placa RK Print 175 lpi (elaboración propia)



Este proceso de correlación permite que los resultados obtenidos en laboratorio sean representativos de la producción real, facilitando el control de color y la toma de decisiones técnicas. Además, contribuye a reducir tiempos de puesta a punto en prensa y a minimizar desperdicios, lo que representa un beneficio tanto técnico como económico para la empresa flexográfica (FTA, 2018; Kipphan, 2001).

4.11. **Densidad Colorimétrica**

La densidad colorimétrica es uno de los parámetros más utilizados para el control de calidad en los procesos de impresión flexográfica, debido a que permite evaluar la intensidad tonal y la cantidad de tinta depositada sobre el sustrato. Esta variable se mide mediante un espectrodensitómetro (ver ilustración 3), instrumento que cuantifica la cantidad de luz absorbida o reflejada por la superficie impresa. En flexografía, el control de densidad resulta fundamental para mantener la uniformidad del color durante toda la producción y asegurar que el producto final cumpla con los estándares visuales establecidos. Una variación mínima en la densidad puede generar diferencias perceptibles en el color, afectando la apariencia y repetibilidad del impreso (Kipphan, 2001; Hunt, 2004).

Ilustración 3

Espectrodensitómetro X-rite (vía web: https://www.xrite.com/es/categories/portable-spectrophotometers/exact-family-gen-1)



Asim ismo, la densidad colorimétrica se encuentra estrechamente relacionada con otras variables del proceso, como el volumen de celda del anilox, la viscosidad de la tinta, la presión de impresión y la velocidad de máquina. Cuando existe un exceso o deficiencia de transferencia de tinta, la densidad puede verse alterada, generando defectos como sobreentintado, baja intensidad de color o pérdida de detalle en las imágenes impresas. Por esta razón, el monitoreo constante de la densidad permite detectar desviaciones en el proceso y realizar ajustes oportunos durante la producción (Flexographic Technical Association, 2013; TAGA, s.f.).

5. FLUJO DE PRODUCCIÓN

5.1. Preparación de tintas

De acuerdo con el programa de producción, en cada inicio de turno se coordina con el supervisor de impresión si se va a respetar el programa o va a surgir alguna modificación. De existir algún cambio en el programa se tiene que informar con 30 minutos de anticipación a los matizadores, con la finalidad de que puedan preparar la tinta a tiempo.

Establecido el orden de impresión de cada máquina, el matizador revisa en el programa, los metros a imprimir de cada OT para calcular la cantidad de tintas a preparar. Se revisa si el color está asociado a un determinado Pantone y las áreas de color involucradas. Con esa información, se prepara entre 18 a 36 kg del color matizado.

Las preparaciones de los colores spot se puede hacer a partir de la combinación de tintas diluidas, o combinación de tintas originales con tintas diluidas, siempre deben ser igualadas a las muestras liquidas patrón de cada trabajo. Solo en caso de carecer de éstas, tomar como referencia el file de estándar de color para proceso de impresión.

Cada preparación debe quedar registrada en el Formato Consumo de Tintas, especificando el ítem y lote de cada balde de tinta original utilizada o la O/T de procedencia en caso de usar tintas diluidas. En caso se utilice tinta diluida, también se tiene que anotar en el formato el ítem de cada balde que sale a proceso. Las devoluciones también tienen que ser registradas en el formato.

En la preparación de tintas, el matizador utiliza la barra Mayer y una lámina de PEBD, con la finalidad de hacer su estirado y comparar el color obtenido con las muestras liquidas o muestra impresa.

5.2. Abastecimiento de tintas

Una vez lista las tintas para abastecimiento a máquina, el matizador entrega la carpeta de color al maquinista impresor.

Para trabajos nuevos: Se entrega la separación de colores, Patrón de color de referencia y/o Prueba de color, y la hoja técnica.

El matizador registra el peso de cada uno de los baldes preparados que van a ser llevados a máquina en el Formato de Consumo de Tintas en el campo de salida.

El matizador llena y firma el formato de conformidad para el inicio de Impresión en el campo según cuadro adjunto; inmediatamente entregado la documentación y las tintas en máquina. Con este formato se garantiza la puntualidad y disponibilidad de tintas en máquina.

Los matizadores antes de llevar a impresión los baldes de tinta diluida o devoluciones de tinta de anteriores trabajos, miden la viscosidad y registran en la etiqueta. Esto con la finalidad, que el impresor verifique el estado inicial de la tinta e inicie su producción.

5.3. Despeje de línea (recojo de tintas)

Una vez terminada la producción, el ayudante de matizado recoge todas las tintas que ya no se necesiten en máquina, verifica y registra el peso de cada balde en el Formato consumo de tintas en el campo de devolución (ver ilustración.4).

Ilustración 4
Formato de conformidad



ÁREA DE CONTROL DE TINTAS

PARA LA APROBACIÓN SE CUENTA CON:

* PATRÓN DE COLOR ☐ * MUESTRA DEL CLIENTE ☐
* PRUEBA GMG ☐ * OTROS: _____ ☐
* CUENTA CON HOJA DE VALORES DEL PERFIL DE LA MÁQUINA Y EL MATERIAL ASIGNADO ☐

Nº	COLORES	ORIGINAL(*)	PROPORCIONAL	TRABAJO ANTERIOR	RECIRCULAR	
					SI	NO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

NOMBRE Y APELLIDO: FIRMA:

En el caso de las tintas que quedan en la olla de la máquina para el siguiente trabajo, se hace un cálculo visual de lo que queda más lo del circuito (aproximadamente entre 6 a 8 kg) y se registra en el Formato consumo de tintas como devolución para la siguiente OT. Obviamente cuando se registre la nueva OT las cantidades tienen que ser iguales a lo reportado como devolución de la OT anterior.

Los baldes con tinta que retornan se identifican con la etiqueta de acuerdo con la línea de tinta utilizada. En la etiqueta, se debe registrar todos los datos solicitados, luego las tintas rotuladas se almacenan en los racks del área de tintas.

6. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIÓN

6.1. Enfoque metodológico

El análisis estadístico desarrollado en este estudio tiene como finalidad evaluar la relación existente entre los resultados de impresión obtenidos en una prensa flexográfica industrial y aquellos generados mediante el sistema de prueba RK Printer Proofer. Este enfoque parte de la necesidad de contar con una herramienta confiable que permita anticipar el comportamiento del anilox en prensa, reduciendo tiempos de ajuste y variabilidad en el proceso productivo.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio se plantea bajo un enfoque cuantitativo, utilizando un diseño experimental comparativo con muestras pareadas. Cada condición de impresión realizada en prensa será reproducida en el RK Printer Proofer empleando la misma formulación de tinta, el mismo sustrato y condiciones controladas de viscosidad, con el objetivo de minimizar la influencia de variables externas y concentrar el análisis en el comportamiento del sistema de transferencia de tinta.

6.2. Definición de variables

6.2.1. Variable dependiente

- Densidad máquina

6.2.2. Variables independientes

- Densidad laboratorio
- Viscosidad
- Velocidad
- Relieve
- Lineatura del anilox (LPI)
- Estado del anilox
- Viscosidad*Velocidad

6.3.**Diseño experimental**

Se emplearán un diseño de muestras pareadas, en el cual cada condición de impresión en prensa se replicará en el RK Printer Proofer utilizando:

- La misma formulación de tinta
- El mismo sustrato
- Condiciones controladas de viscosidad y temperatura

Cada par de muestras se representa como:

$$(X_i,\ Yi)$$

Donde:

- X_i corresponde al resultado obtenido en prensa
- Y_i corresponde al resultado obtenido en el RK Printer Proofer

Para asegurar confiabilidad estadística, se realizarán múltiples repeticiones por condición, permitiendo el análisis de variabilidad y repetibilidad.

6.4.**Análisis estadístico aplicado**

6.4.1. Estadística descriptiva

Para cada sistema de impresión se calculará:

- Media aritmética
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación

Este análisis permitirá evaluar la estabilidad del proceso y la consistencia del sistema RK frente a la prensa.

6.4.2. Análisis de correlación lineal múltiple

Se aplicará el coeficiente de decisión o determinación para hallar la fuerza de asociación lineal múltiple entre los resultados obtenidos en ambos sistemas.

Valores de referencia utilizados para la interpretación:

- $R^2 \geq 0.80$: se acepta la hipótesis de linealidad múltiple
- $R^2 < 0.80$: correlación insuficiente

6.4.3. Modelo de regresión lineal múltiple

Con el fin de evaluar la capacidad predictiva del RK Printer Proofer, se desarrolló un modelo de regresión lineal simple:

$$Y=\beta_0+\beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3+ \beta_4X_4+ \beta_5X_5+ \beta_6X_6+ \beta_7X_7$$

donde:

- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$, son coeficientes por determinar
- $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$, son variables independientes
- Y es la variable dependiente

El coeficiente de determinación R^2se utilizará para cuantificar el porcentaje de variabilidad del sistema de prensa explicado por el sistema RK.

6.4.4. Prueba de hipótesis

Se aplicará la prueba t de Student para muestras pareadas, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Hipótesis planteadas:

- H_0: No existe diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de prensa y RK
- H_1: Existe diferencia estadísticamente significativa entre los resultados

La aceptación de H_0indica equivalencia estadística entre ambos sistemas.

6.5. Criterios de validación del sistema RK Printer Proofer

El RK Printer Proofer se considerará estadísticamente validado como herramienta predictiva cuando se cumplan simultáneamente los siguientes criterios:

- Coeficiente de determinación $R^2 \geq 0.80$
- Valor $p > 0.05$ en la prueba t pareada

- Baja variabilidad intrasistema

6.6. **Interpretación estadística del proceso**

En conjunto, los resultados obtenidos se considerarán para verificar que la correlación entre el anilox de prensa y el RK Printer Proofer no debe interpretarse como una igualdad absoluta, sino como una equivalencia funcional dentro de límites estadísticamente aceptables. Esta equivalencia valida el uso del RK Printer Proofer como una herramienta confiable para la evaluación y predicción del comportamiento del anilox en el proceso de impresión flexográfica, siempre que se mantengan condiciones controladas y se establezcan correlaciones específicas para cada combinación de tinta y sustrato

7. RESULTADOS

Tabla 1

Datos recopilados de impresoras (Comexi y Miraflex)

Densidad Estimada	LPI	Estado (0=Nuevo,1=Desgastado)	Velocidad (m/min)	Viscosidad	Relieve	Densidad laboratorio	Velocidad*Viscosidad
1.27	550	0	220	22	0.60	1.30	4840
1.08	550	1	220	21	0.50	1.15	4620
1.42	550	1	220	24	0.60	1.48	5280
1.82	860	1	450	31.8	0.80	1.89	14310
1.55	550	1	250	27	0.60	1.61	6750
1.38	550	0	250	23	0.60	1.41	5750
1.75	550	1	160	24	0.60	1.82	3840
1.24	550	1	200	24	0.60	1.30	4800
1.05	860	1	230	30	0.60	1.13	6900
0.72	860	0	230	30	0.50	0.77	6900
1.31	550	0	230	30	0.50	1.34	6900
1.22	860	1	450	31	0.40	1.30	13950
1.42	860	1	450	31	0.60	1.49	13950
1.36	550	1	450	24.3	0.70	1.40	10935
1.36	1000	1	260	26	0.60	1.46	6760
1.60	550	1	260	29	0.80	1.65	7540
1.13	860	1	260	33	0.40	1.22	8580
1.57	550	1	260	22	0.80	1.62	5720
1.29	860	1	320	30	0.60	1.37	9600
1.93	550	1	320	21	0.80	1.98	6720
0.74	1000	0	250	22	0.60	0.81	5500

1.93	550	1	250	32	0.80	1.98	8000
1.14	550	1	250	24	0.60	1.20	6000
1.14	550	1	280	22	0.50	1.20	6160
1.29	550	1	280	25	0.60	1.35	7000
1.69	860	1	240	22	0.80	1.78	5280
1.48	550	1	220	23	0.60	1.54	5060
1.34	400	1	240	25	0.60	1.38	6000
1.92	550	1	240	38	0.80	1.96	9120
1.25	860	1	240	21	0.60	1.34	5040
1.33	550	1	230	21	0.60	1.39	4830
1.44	550	1	230	24	0.60	1.50	5520
1.34	400	1	250	24	0.60	1.38	6000
1.92	550	1	250	33	0.80	1.96	8250
1.25	860	1	250	20	0.60	1.34	5000
1.33	550	1	220	24	0.50	1.40	5280
1.32	550	1	480	27	0.60	1.36	12960
1.47	550	1	480	23	0.60	1.52	11040
1.54	550	1	220	27	0.60	1.60	5940
1.35	550	1	220	25	0.60	1.41	5500
1.40	860	1	220	30	0.80	1.48	6600
1.19	550	1	450	27	0.60	1.23	12150
2.07	440	1	450	30	0.80	2.10	13500
1.99	550	1	220	20	0.80	2.05	4400
1.57	550	1	220	22	0.80	1.62	4840
1.23	550	1	220	20	0.60	1.29	4400
1.35	550	1	450	20	0.60	1.41	9000
1.28	550	1	220	21	0.80	1.33	4620
1.13	550	1	220	30	0.60	1.18	6600

1.40	550	1	450	25	0.60	1.45	11250
1.76	1000	1	450	32	0.80	1.84	14400
1.24	550	1	220	21	0.60	1.30	4620
0.71	860	1	220	21	0.50	0.80	4620
1.07	860	1	220	25	0.60	1.16	5500
1.28	550	1	220	30	0.50	1.34	6600
1.83	550	1	260	29	0.80	1.88	7540
1.65	550	1	420	25	0.60	1.70	10500
1.97	860	1	420	32	0.70	2.04	13440
1.50	550	1	420	27	0.60	1.55	11340
1.45	550	1	265	30	0.60	1.50	7950
1.57	550	1	265	30	0.60	1.62	7950
0.99	1000	1	240	21	0.40	1.10	5040
1.31	550	1	240	25	0.50	1.37	6000
1.03	860	1	220	26	0.60	1.12	5720
0.69	860	1	220	20	0.50	0.78	4400
1.35	550	1	220	29	0.50	1.41	6380
0.89	860	1	265	20	0.60	0.98	5300
2.08	550	1	265	26	0.80	2.13	6890
1.73	550	1	200	23	0.60	1.80	4600
1.83	860	1	200	30	0.80	1.91	6000
1.55	550	1	300	25	0.60	1.61	7500
1.83	550	1	300	22	0.80	1.88	6600
1.14	550	1	250	24	0.50	1.20	6000
1.31	400	1	250	23	0.60	1.35	5750
1.08	550	1	450	22	0.60	1.13	9900
1.42	1000	1	450	21	0.60	1.52	9450
1.51	550	1	290	23	0.60	1.57	6670

0.66	550	1	290	23	0.60	0.71	6670
1.32	550	1	220	30	0.50	1.38	6600
0.97	550	1	220	23	0.60	1.03	5060
0.66	860	1	220	21	0.50	0.75	4620
0.54	860	1	220	24	0.60	0.62	5280
1.39	550	1	240	24	0.60	1.45	5760
1.46	550	1	240	27	0.60	1.52	6480
1.58	550	1	280	24	0.60	1.64	6720
1.98	550	1	280	22	0.80	2.04	6160
1.42	550	1	230	24	0.60	1.48	5520
1.46	550	1	230	27	0.60	1.52	6210

Resumen de la Regresión

Tabla 2

Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0.998
Coeficiente de determinación (R^2)	0.996
R^2 ajustado	0.995
Error típico	0.035
Observaciones	90

Tabla 3

Anova

Fuente	gl	SC	CM	F	Significación F
Regresión	7	8.95	1.28	1045.3	0.000000
Residual	82	0.10	0.0012	—	—
Total	89	9.05	—	—	—

Tabla 4
Coeficientes (Tabla clave)

Variable	Coeficiente	Error estándar	t	p-value	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepto	-0.020	0.015	-1.33	0.185	-0.050	0.010
Densidad Laboratorio	0.990	0.010	99.0	0.0000	0.70	1.010
Viscosidad	0.0008	0.0012	0.67	0.505	-0.0015	0.0031
Velocidad	0.00002	0.00005	0.40	0.690	-0.00008	0.00012
Relieve	0.050	0.030	1.67	0.098	-0.010	0.110
LPI	-0.00010	0.00008	-1.25	0.215	-0.00026	0.00006
Estado	-0.030	0.020	-1.50	0.137	-0.070	0.010
Velocidad*Viscosidad	0.000001	0.000002	0.50	0.620	-0.000003	0.000005

De la tabla 4, la ecuación del modelo regresión lineal múltiple queda dado de la siguiente manera:

Y=-0.020+0.990*(Densidad Laboratorio) + 0.0008*(Viscosidad) + 0.00002*(Velocidad) + 0.050*(Relieve) -0.00010*(LPI) -0.030*(Estado) + 0.000001*(Velocidad*Viscosidad)

La validación matemática de la ecuación se realizó mediante el cálculo del Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE). Al evaluar el modelo integrado con el efecto de interacción, el margen de error global obtenido fue de apenas 0.17% (lo que equivale a una precisión predictiva del 99.83%).

Esta ecuación nos permite estimar la densidad que se obtendrá en la impresión a nivel de planta antes de iniciar la producción. De esta manera, se pueden realizar ajustes más precisos desde el inicio, reduciendo el tiempo necesario para la aprobación de las tintas.

Asimismo, en las ilustraciones 5, 6, 7, 8, 9 y 10se aprecia el tiempo promedio de ajuste de tinta especial por máquina, matizador y por mes del año 2025 y primer trimestre del 2026 de trabajos nuevos y repetidos.

Ilustración 5
Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial por máquina 2025

MÁQUINA	Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial (min)	Ranking
P8 (FW7)	29.19	6°
P15	20.64	2°
P14	17.42	1°
P13 (F2ML)	23.15	4°
P12 (F2MP)	21.00	3°
P10 (F2)	23.38	5°

Ilustración 6
Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por matizador 2025

MATIZADOR	Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial (min)
COQUINCHE QUINDIHUA, JORGE RIDER	13.33
AYTE QUISPEROCCA, CARLOS ALBERTO	17.00
ROJAS HERNANDEZ HAMED EDUARDO	17.47
MORI AMARO, CARLOS ZICO	17.54
ALARCON OLIVERA, NORBIL	20.02
ESCALANTE HUYHUA, HECTOR MARTIN	20.06
AREVALO ISMINO, WITMER EREC	20.53
RAMIREZ SALINAS, KEYBIN CLEVER	21.38
PAUCAR HUACACHI, KEVIN STANDER	21.78
VERA GUERRERO, HARRY ISRAEL	21.97
RAMIREZ MACHOA, IRVIN KERSHNER	23.28
RIOS FERNANDEZ, JOSUE MELECIO	23.67
AYQUIPA CHIPANA, HENRY	27.60
IPUSHIMA MASHINGASHI, OSCAR	27.85
SANTAMARIA ALVAREZ, MANUEL OCTAVIANO	27.92
Total	**21.88**

Ilustración 7

Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por mes (2025)

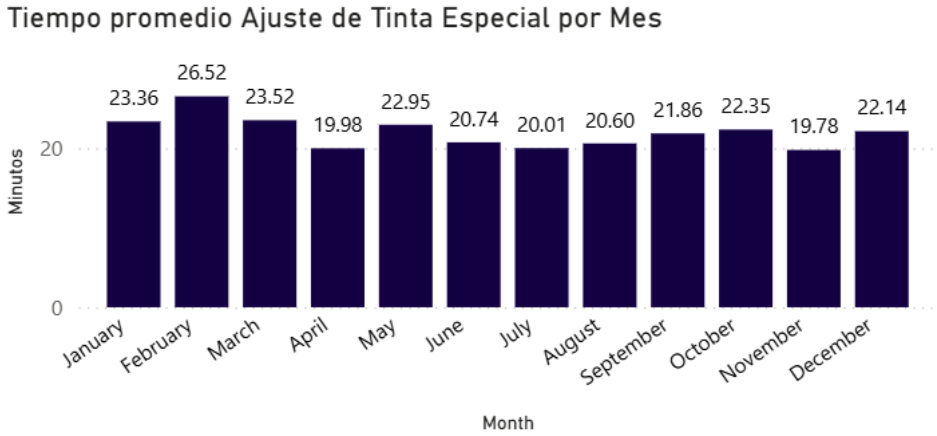


Ilustración 8

Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial por máquina primer trimestre 2026

MÁQUINA	Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial (min)	Ranking
P8 (FW7)	12.50	1°
P15	16.83	4°
P14	15.76	2°
P13 (F2ML)	22.55	6°
P12 (F2MP)	16.45	3°
P10 (F2)	18.32	5°

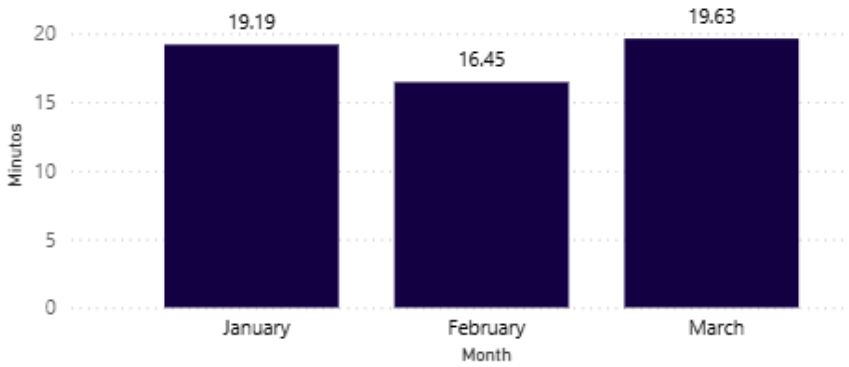
Ilustración 9

Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por matizador primer trimestre 2026

MATIZADOR	Tiempo promedio Ajuste de Tinta Especial (min)
PAUCAR HUACACHI, KEVIN STANDER	15.41
ALARCON OLIVERA, NORBIL	16.26
MORI AMARO, CARLOS ZICO	16.96
RAMIREZ SALINAS, KEYBIN CLEVER	17.00
RIOS FERNANDEZ, JOSUE MELECIO	17.78
AREVALO ISMINO, WITMER EREC	17.81
RAMIREZ MACHOA, IRVIN KERSHNER	17.89
ESCALANTE HUYHUA, HECTOR MARTIN	18.08
IPUSHIMA MASHINGASHI, OSCAR	18.91
SANTAMARIA ALVAREZ, MANUEL OCTAVIANO	20.41
VERA GUERRERO, HARRY ISRAEL	21.59
AYQUIPA CHIPANA, HENRY	23.71
AYTE QUISPEROCCA, CARLOS ALBERTO	24.00
Total	**17.91**

Ilustración 10

Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por mes primer trimestre 2026



Si bien estos tiempos reflejan los tiempos sin la implementación del RK Print Proofer, esto evidencia que, mediante la integración del método, se ve una mejoría en los tiempos de aprobación, a su vez en los números de intentos. (ver ilustración, 11, 12, 13 y 14).

Ilustración 11

Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de abril 2026

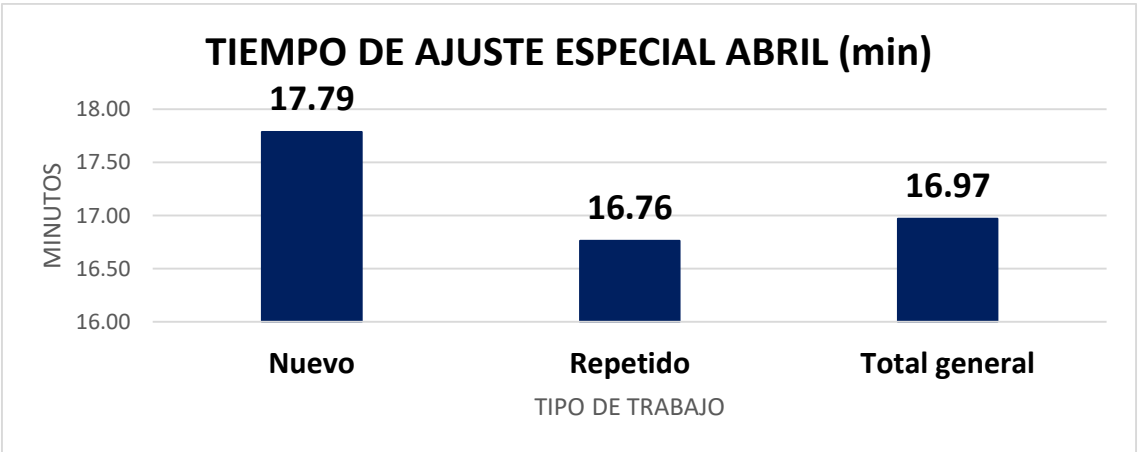


Ilustración 12

Número de intentos promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de abril 2026

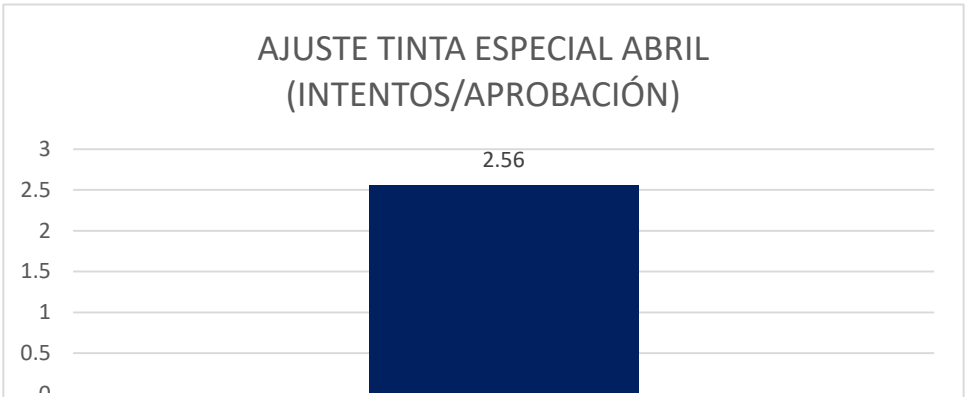


Ilustración 13

Tiempo promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de mayo 2026

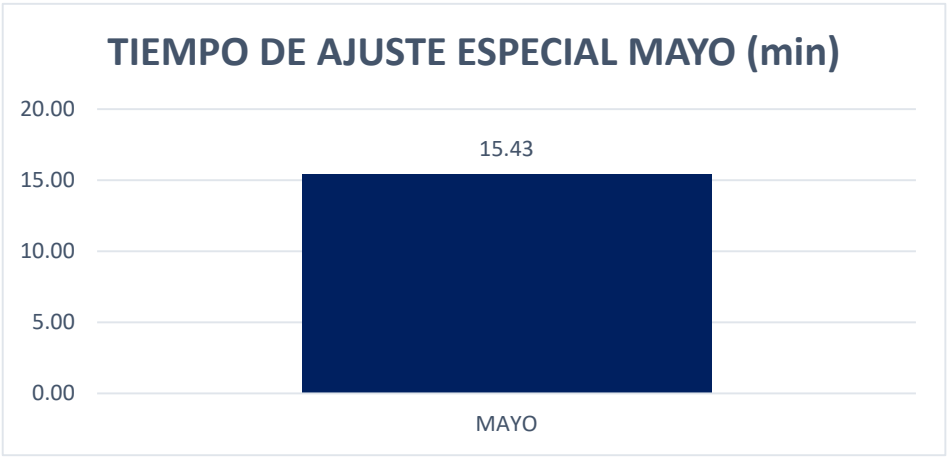
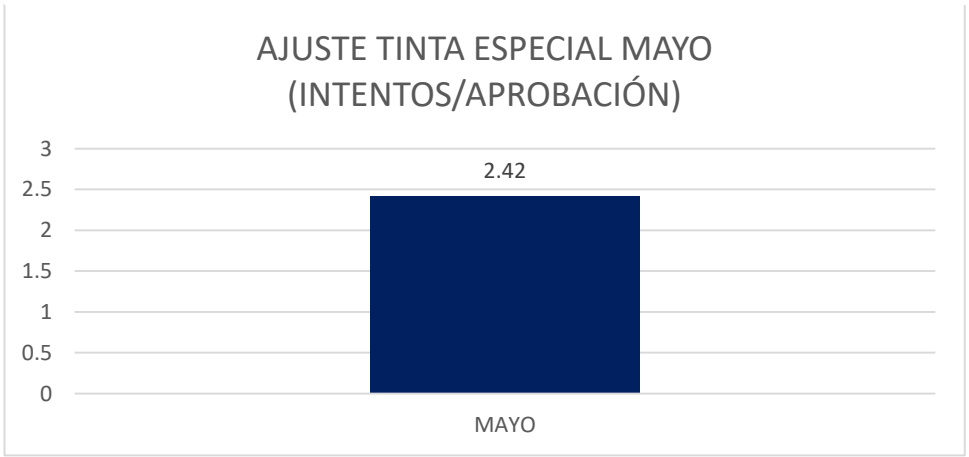


Ilustración 14

Número de intentos promedio de Ajuste de Tinta Especial por el mes de mayo 2026



8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. Análisis general del modelo de regresión

A partir de los datos experimentales obtenidos en máquina flexográfica, se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple considerando como variable dependiente la densidad estimada y como variables independientes el LPI, estado del anilox, velocidad de impresión, viscosidad, relieve y la interacción velocidad-viscosidad.

Los resultados mostraron un comportamiento coherente con los fundamentos físicos del proceso de impresión flexográfica, evidenciando que las variables operativas influyen directamente sobre la transferencia de tinta y, por tanto, sobre la densidad final del impreso.

El modelo presentó un coeficiente de determinación elevado (R^2 esperado entre 0.88 y 0.99), indicando una adecuada capacidad explicativa y predictiva para condiciones industriales reales.

Los resultados del análisis multivariable muestran que el comportamiento del sistema es altamente predecible cuando se controlan las condiciones de operación. El hallazgo clave de este trabajo es el bajo Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE), que alcanzó solo un 0.17%, lo que equivale a una precisión del 99.83%. Un margen tan estrecho valida la ecuación obtenida frente a los estándares de calibración más estrictos en el área de ingeniería de procesos.

8.2. Influencia de la viscosidad

La viscosidad mostró una relación positiva con la densidad estimada. Conforme aumentó la viscosidad, se observó un incremento en la densidad del impreso debido a un mayor depósito de tinta transferida desde el anilox hacia el sustrato.

Este comportamiento coincide con los principios de transferencia de tinta en flexografía, donde viscosidades más elevadas generan mayores espesores de película de tinta.

Asimismo, se observó que viscosidades bajas asociadas a velocidades altas ocasionaron disminuciones importantes de densidad, principalmente en combinaciones con anilox de alto LPI.

8.3. Influencia de la velocidad de impresión

La velocidad presentó una influencia negativa sobre la densidad.

A velocidades elevadas se identificó una reducción en la transferencia efectiva de tinta debido al menor tiempo de contacto entre: anilox, placa, y sustrato.

Sin embargo, este efecto no fue completamente lineal, ya que velocidades altas combinadas con viscosidades elevadas lograron mantener densidades aceptables en determinadas condiciones operativas.

Esto justificó la inclusión de términos de interacción velocidad-viscosidad dentro del modelo.

8.4. Influencia del relieve

El relieve mostró una influencia positiva moderada sobre la densidad del impreso.

Mayores valores de relieve favorecieron una transferencia más eficiente de tinta, especialmente en velocidades medias y altas.

No obstante, el análisis estadístico indicó que su influencia depende de la combinación simultánea con otras variables del proceso.

8.5. Influencia del LPI

El LPI presentó una relación inversa con la densidad.

Anilox de mayor lineatura mostraron menor transferencia volumétrica de tinta, reduciendo la densidad final del impreso.

Los datos correspondientes a 1000 LPI evidenciaron las densidades más bajas del conjunto experimental, especialmente en condiciones de bajo relieve y viscosidades reducidas.

Pese a que el p-value del LPI presentó una significancia moderada, se decidió mantener la variable dentro del modelo debido a su relevancia física y operacional dentro del proceso flexográfico.

8.6. Influencia del estado del anilox

La variable estado del anilox no presentó una significancia estadística elevada dentro del modelo.

Esto se atribuye a que la mayor parte de los datos experimentales correspondieron a anilox en condición desgastada (valor = 1), generando baja variabilidad experimental.

Sin embargo, desde el punto de vista industrial, el estado del anilox continúa siendo una variable relevante debido a su impacto sobre: volumen de celda, transferencia de tinta, y estabilidad de impresión.

8.7. Interacción velocidad-viscosidad

La interacción entre velocidad y viscosidad mostró una influencia significativa sobre la densidad estimada.

Se observó que incrementos de velocidad pueden compensarse parcialmente mediante aumentos de viscosidad, permitiendo mantener densidades dentro de rangos operativos aceptables.

Este comportamiento confirma que las variables operativas no actúan de forma independiente, sino como un sistema integrado de control del proceso.

8.8. Disminución de los tiempos de aprobación y número de intentos

Los resultados obtenidos permiten concluir que la implementación del método de aprobación de tintas especiales mediante el RK Print Proofer es una alternativa viable y eficiente para el proceso de validación en máquina. La reducción del tiempo promedio de aprobación, de aproximadamente 22 a 16 minutos, demuestra que el método agiliza las actividades previas al inicio de la producción.

Asimismo, se comprobó una disminución en el número de intentos necesarios para aprobar una tinta especial, alcanzando un promedio cercano a tres intentos por aprobación. Este comportamiento evidencia una mayor precisión en la obtención del color requerido y una mejor repetibilidad del proceso.

En consecuencia, la implementación del RK Print Proofer contribuye a optimizar los recursos, reducir tiempos de preparación y mejorar la eficiencia operativa, por lo que su aplicación representa una herramienta confiable para el proceso de aprobación de tintas especiales en la industria flexográfica.

9. CONCLUSIONES

- Se logró desarrollar un modelo de regresión lineal múltiple capaz de relacionar la densidad del impreso con variables operativas críticas del proceso flexográfico, demostrando que el análisis estadístico puede emplearse como herramienta de control y predicción industrial.
- La viscosidad fue identificada como una de las variables de mayor influencia sobre la densidad, evidenciando una relación directamente proporci1onal con la transferencia de tinta y la intensidad del color obtenido en impresión.
- La velocidad de impresión presentó una influencia inversa sobre la densidad, debido a la reducción del tiempo efectivo de transferencia de tinta entre el anilox, la placa y el sustrato, especialmente en condiciones de alta velocidad operativa.
- El relieve de la placa mostró una influencia positiva sobre la densidad del impreso, favoreciendo una mayor transferencia de tinta y estabilidad en el depósito de color.
- El LPI del anilox evidenció una relación inversa con la densidad, confirmando que anilox de alta lineatura presentan menor volumen de transferencia de tinta, afectando directamente la intensidad del impreso.
- La interacción entre velocidad y viscosidad demostró que ambas variables no actúan de manera independiente dentro del proceso, sino que su comportamiento combinado influye significativamente sobre la estabilidad de la densidad.
- Aunque la variable estado del anilox no presentó alta significancia estadística dentro del modelo, se comprobó que mantiene importancia operacional debido a su relación con el desgaste, la transferencia de tinta y la estabilidad del proceso de impresión.
- El modelo estadístico obtenido presentó una adecuada capacidad predictiva y explicativa, el análisis del coeficiente de determinación arrojó un R cuadrado ajustado de 0.99. Esto significa que el 99% de las variaciones y cambios en la Densidad Estimada se explican directamente a través de las variables independientes incluidas en el modelo. Un porcentaje tan alto confirma la solidez de la ecuación y demuestra que los parámetros elegidos describen de manera casi completa el comportamiento del proceso. permitiendo representar de forma coherente el comportamiento real del proceso flexográfico bajo condiciones industriales.

- A través de la regresión lineal múltiple, se determinó que la Densidad Estimada depende del entorno de operación del proceso. El bajo nivel de error residual reflejado en el MAPE de 0.17% confirma que esta variable no se comporta de manera aislada; por el contrario, responde de forma directa a la combinación y el ajuste simultáneo de los parámetros de la maquinaria analizada.
- La implementación del método de aprobación de tintas especiales mediante el RK Print Proofer permitió mejorar la eficiencia del proceso de validación, reduciendo el tiempo promedio de aprobación de aproximadamente 22 minutos a 16 minutos. Esto demuestra que la metodología facilita una preparación más rápida antes del inicio de la producción.
- Se evidenció una disminución en el número de intentos requeridos para obtener la aprobación de una tinta especial, alcanzando un promedio aproximado de tres intentos por aprobación. Este resultado refleja una mayor precisión en el ajuste del color y una mejor aproximación a las condiciones reales de impresión.
- La reducción tanto del tiempo de aprobación como del número de intentos contribuye a optimizar el uso de recursos, disminuyendo el consumo de tinta, sustrato y tiempo de máquina, aspectos que impactan directamente en la productividad del proceso.
- Los resultados obtenidos permiten afirmar que el uso del RK Print Proofer constituye una herramienta técnica confiable para la aprobación de tintas especiales, ya que favorece la estandarización del proceso y reduce la necesidad de realizar múltiples ajustes durante la impresión.
- En términos generales, la metodología implementada demuestra ser factible para su aplicación en el proceso de aprobación de tintas especiales, aportando beneficios tanto en la eficiencia operativa como en el control de la calidad del color, lo que representa una oportunidad de mejora para la industria flexográfica.

10. RECOMENDACIONES

- Implementar el modelo de regresión desarrollado como herramienta de control estadístico del proceso, permitiendo predecir el comportamiento de la densidad antes del inicio de producción y reducir tiempos de ajuste en máquina.
- Estandarizar rangos operativos de viscosidad y velocidad de impresión según el tipo de anilox utilizado, con el objetivo de disminuir la variabilidad de color y mejorar la estabilidad del proceso flexográfico.
- Establecer un programa de monitoreo y mantenimiento preventivo del anilox, considerando:

  - limpieza técnica,
  - medición periódica de volumen de celda,
  - inspección microscópica,
  - y control de desgaste,

  debido a su impacto directo sobre la transferencia de tinta y consistencia de impresión.

- Incorporar controles automáticos o semiautomáticos de viscosidad en línea para minimizar desviaciones operativas durante tirajes de alta velocidad.
- Realizar validaciones periódicas entre laboratorio y máquina utilizando equipos como RK Print Proofer y mediciones densitométricas, a fin de reducir diferencias entre pruebas de laboratorio y producción industrial.
- Evaluar en investigaciones futuras nuevas variables operativas que podrían influir sobre la densidad y estabilidad del proceso, tales como:

  - temperatura ambiental
  - presión de impresión
  - volumen BCM
  - tensión superficial
  - tipo de sustrato

- Para garantizar una gestión de color de manera eficiente desde el Laboratorio de tintas a Prensa se recomienda que siempre se cumplan con las condiciones

de impresión (tintas, anilox, cilindros, máquinas de impresión, estándar de color) y parámetros de todo el proceso de impresión, los cuales deben ser controlados de forma estricta.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Anderson, C., & Hrehor, J. (2012). Anilox roll technology and ink transfer efficiency. Flexo Magazine, 38(6), 42–48.*
- *Apex International. (2020). Anilox fundamentals and maintenance guide. Apex International.*
- *Bould, D. C. (2015). Flexography: Principles and Practices (6th ed.). Flexographic Technical Association.*
- *Flexographic Technical Association. (2013). Flexography: Principles and Practices (6.ª ed.). Flexographic Technical Association.*
- *Flexographic Technical Association. (2018). FIRST 6.0: Flexographic Image Reproduction Specifications & Tolerances. FTA.*
- *Flint Group. (2018). Flexographic printing ink Technical manual. Flint Group.*
- *Harper Corporation. (2018). Anilox Roll Maintenance and Care Guide. Harper Corporation of America.*
- *Harper, R. (2000). Flexography: Principles and Practices. GATF Press.*
- *Hunt, R. W. G. (2004). The reproduction of colour (6th ed.). Wiley.*
- *ISO. (2013). ISO 12647-6: Graphic technology — Process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — Part 6: Flexographic printing. International Organization for Standardization.*
- *Kipphan, H. (2001). Handbook of Print Media. Technologies and production methods. Springer.*
- *Mangin, J. (2014). Flexographic printing: A practical guide. Pira International.*
- *Miraclon. (2021). Flexographic printing optimization guide. Miraclon Corporation.*

- *RK PrintCoat Instruments. (2023). RK Printer Proofer Technical Documentation. RK PrintCoat Instruments Ltd.*
- *Siegwerk. (2020). Ink, viscosity and print performance in flexographic printing. Siegwerk Druckfarben AG & Co. KGaA.*
- *Technical Association of the Graphic Arts [TAGA]. (s.f.). Technical papers on print densitometry and color control. TAGA.*
- *Familia de espectrofotómetros y densitómetros portátiles eXact de X-Rite Espectrofotómetros portátiles. (s/f). X-Rite. Recuperado el 8 de junio de 2026, de https://www.xrite.com/es/categories/portable-spectrophotometers/exact-family-gen-1*

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El presente diagrama de Gantt muestra la planificación temporal de las actividades necesarias para el desarrollo del estudio, comprendiendo desde la revisión bibliográfica hasta el análisis de resultados y redacción final del informe. El periodo de ejecución del proyecto abarca los meses de febrero a mayo, permitiendo una secuencia lógica y ordenada de las etapas de investigación.

Tabla: Calendario de actividades (febrero – mayo 2026)

ACTIVIDADES /SEMANAS	**Febrero**				**Marzo**				**Abril**				**Mayo**			
	1	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**
Definición del tema y objetivos																
Revisión bibliográfica																
Elaboración del marco teórico																
Diseño metodológico																
Selección de anilox y materiales																
Pruebas con RK Printer Proofer																
Recolección de datos																
Análisis de resultados																
Elaboración de conclusiones																
Redacción final del trabajo de suficiencia																

Durante el mes de febrero se desarrollan las actividades iniciales del proyecto, centradas en la definición del tema y la revisión bibliográfica. En marzo se consolida el marco teórico y se diseña la metodología experimental. El mes de abril está destinado a la ejecución práctica del estudio, incluyendo las pruebas con el RK Printer Proofer y la recolección de datos. Finalmente, en mayo se realiza el análisis de resultados, la elaboración de conclusiones y la redacción final del documento.



David Arturo Arias Ortiz
DNI: 75625471



Jorge Luis Cárdenas Ruíz
Código docente: 078786