



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

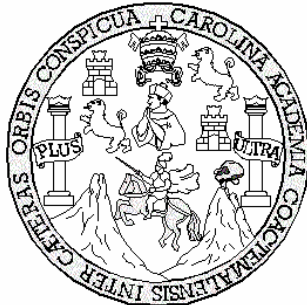
**OPTIMIZACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE DOS
SOLUCIONES DE FUENTE PARA LITOGRAFÍA EN
MÁQUINAS ROTATIVAS Y PLANAS, CON MATERIAS
PRIMAS DISPONIBLES A NIVEL NACIONAL**

Julio Ignacio Fagiani Cruz

Asesorado por: Ing. Julio César Fagiani Türk

Guatemala, octubre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

OPTIMIZACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE DOS SOLUCIONES DE FUENTE PARA LITOGRAFÍA EN MÁQUINAS ROTATIVAS Y PLANAS, CON MATERIAS PRIMAS DISPONIBLES A NIVEL NACIONAL

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JULIO IGNACIO FAGIANI CRUZ

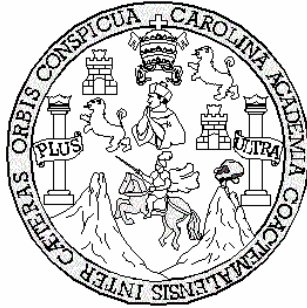
ASESORADO POR: ING. JULIO CÉSAR FAGIANI TÜRK

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Edgar Adolfo Reynoso Enríquez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

OPTIMIZACIÓN EN LA FORMULACIÓN DE DOS SOLUCIONES DE FUENTE PARA LITOGRAFÍA EN MÁQUINAS ROTATIVAS Y PLANAS, CON MATERIAS PRIMAS DISPONIBLES A NIVEL NACIONAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 25 de agosto de 2003.

Julio Ignacio Fagiani Cruz

AGRADECIMIENTOS:

A DIOS

Por darme la inteligencia y la sabiduría necesarias para conseguir lo que me proponga en esta vida y terminarlo con éxito.

A MIS PADRES

Por su amor, paciencia, dedicación y esfuerzo para darme las herramientas necesarias para luchar por un futuro mejor, lleno de sueños y esperanzas.

A MI HERMANO, ABUELA, TÍAS Y PRIMOS

Por creer en mí y apoyarme durante todo el tiempo que duró la carrera y ser fuente de consuelo y alegrías en todo momento.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

Por brindarme su ayuda, su amistad y su apoyo en todas las situaciones que nos tocó vivir en los cinco años de carrera.

A LA UNIVERSIDAD

Por ponerme a prueba cada año haciéndome un profesional capaz y responsable, con la armas necesarias para empezar a forjarme un mejor futuro.

DEDICATORIA:

A DIOS

Además de dedicarle merecidamente este día, le agradezco su grande y profundo amor perdonador y le entrego todo triunfo que consiga en mi vida, pues la excelencia le pertenece a Él.

A MIS PADRES

Les agradezco su dedicación y apoyo durante todos mis estudios y en especial durante los últimos seis años de mi vida. Porque han probado ser excelentes padres en toda situación por difícil que sea. Por todo eso se merecen lo mejor de este mundo y espero que Dios les conceda muchos años más de vida, llenos de alegrías y triunfos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
HIPÓTESIS	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. JUSTIFICACIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Marco teórico específico	
2.1.1. Solución de fuente	3
2.1.1.1. Funciones de la solución de fuente	4
2.1.1.2. Componentes de la solución de fuente	4
2.2. Antecedentes	
2.2.1. Impresión litográfica <i>offset</i>	6
2.2.2. Placas litográficas	8
2.2.3. Máquinas rotativas	9
2.2.4. Máquinas planas	10
2.2.5. Mantillas para impresión litográfica	11
2.2.6. Rodillos	12
2.2.7. Otras partes móviles del equipo de impresión	
2.2.7.1. Engranajes	12
2.2.7.2. Cojinetes	12
2.2.8. Tintas litográficas	
2.2.8.1. Composición de las tintas	13
2.2.8.2. Tinta y características de la litografía <i>offset</i>	14

2.2.8.3. Características de las tintas litográficas	14
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
4. METODOLOGÍA	
4.1. Insumos	
4.1.1. Solución de fuente para máquinas rotativas.....	19
4.1.2. Solución de fuente para máquinas planas	21
4.2. Instrumentos	22
4.3. Procedimiento experimental	23
5. RESULTADOS	25
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	57
REFERENCIAS	59
BIBLIOGRAFÍA	61
APÉNDICES	63
ANÉXOS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Concentración final de solución vrs. conductividad en máquinas rotativas a 5.5 de pH (muestras 1 a 4).	38
2	Concentración final de solución vrs. conductividad en máquinas rotativas a 5.5 de pH (muestras 5 a 8).	39
3	Concentración final de solución vrs. conductividad en máquinas planas a 4.5 de pH.	40
4	Conductividad eléctrica vrs. rendimiento en máquinas rotativas a 5.5 de pH.	41
5	Conductividad eléctrica vrs. rendimiento en máquinas planas a 4.5 de pH.	42
6	Conductividad eléctrica vrs. nitidez e intensidad del color en máquinas rotativas a 5.5 de pH.	43
7	Conductividad eléctrica vrs. nitidez e intensidad del color en máquinas planas a 4.5 de pH.	44
8	Conductividad eléctrica vrs. limpieza de impresión en máquinas rotativas a 5.5 de pH.	45
9	Conductividad eléctrica vrs. limpieza de impresión en máquinas planas a 4.5 de pH.	46

10	Unidad de máquina rotativa (lado de operación).	67
11.	Unidad de máquina rotativa (lado de transmisión).	68
12.	Arreglo de rodillos y mantillas en una máquina rotativa.	69
13.	Proceso de impresión <i>offset</i> en máquinas rotativas	70

TABLAS

I	Formulaciones de solución de fuente para máquinas rotativas.	20
II	Formulaciones de solución de fuente para máquinas planas.	22
III	Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 2,500 $\mu\text{S}/\text{m}$.	27
IV	Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 2,200 $\mu\text{S}/\text{m}$.	28
V	Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 1,900 $\mu\text{S}/\text{m}$.	29
VI	Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 1,600 $\mu\text{S}/\text{m}$.	30
VII	Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 1,300 $\mu\text{S}/\text{m}$.	31

VIII	Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 2,200 $\mu\text{S}/\text{m}$.	32
IX	Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 1,900 $\mu\text{S}/\text{m}$.	32
X	Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 1,600 $\mu\text{S}/\text{m}$.	33
XI	Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 1,300 $\mu\text{S}/\text{m}$.	33
XII	Concentraciones promediadas a diferentes conductividades en máquinas rotativas.	34
XIII	Concentraciones promediadas en máquinas planas.	34
XIV	Rendimiento promedio a diferentes conductividades en máquinas rotativas.	35
XV	Rendimiento promedio a diferentes conductividades en máquinas planas.	35
XVI	Nitidez e intensidad de color promedio a diferentes conductividades en máquinas rotativas.	36
XVII	Nitidez e intensidad de color promedio a diferentes conductividades en máquinas planas.	36

XVIII	Limpieza de impresión promedio a diferentes conductividades en máquinas rotativas.	37
XIX	Limpieza de impresión promedio a diferentes conductividades en máquinas planas.	37
XX	Desviación estándar para los datos de rendimiento de placa en máquinas rotativas para cada conductividad trabajada.	63
XXI	Desviación estándar para los datos de rendimiento de placa en máquinas planas para cada conductividad trabajada.	63
XXII	Desviación estándar para los datos de concentración de solución final en onzas por galón en máquinas rotativas para todas las conductividades.	64
XXIII	Desviación estándar para los datos de concentración final de solución en máquinas planas para todas las conductividades.	64
XXIV	Costo de fabricación de la formulación 5 para 55 galones.	65
XXV	Costo de fabricación de la formulación 6 para 55 galones.	65
XXVI	Costo de fabricación de la formulación 8 para 55 galones.	66
XXVII	Costo de fabricación de la formulación 3 para 55 galones.	66
XXVIII	Costo de fabricación de la formulación 4 para 55 galones.	66

GLOSARIO

AComplejantes	Compuestos que inhiben la precipitación de los cationes que puedan existir en solución, especialmente los divalentes (Ca^{++} , Mg^{++}), mediante la formación de complejos de los metales específicos.
Acrílicos	Nombre químico para el grupo orgánico $\text{H}_2\text{C}=\text{CHCO}-$. Por ser termoplásticos (capacidad de ablandarse con el calor y volverse a endurecer con el frío), son impermeables al agua y de baja densidad. Por tal razón se usan para fabricar materiales moldeados, adhesivos y fibras textiles.
Balance tinta-agua	Se denomina así a la adecuada emulsificación que debe existir entre la tinta y la solución de fuente para optimizar el uso de ambas en el proceso de impresión.
Barra de grises	Barra tricolor que se coloca en el diseño de las páginas de los periódicos para permitir un buen control, mediante un medidor de densidad refractaria, de los parámetros de color establecidos para una impresión aceptable.

Buffer	Disolución de un ácido débil o una base débil y su sal. Su función es regular los cambios en el pH al agregársele cantidades de agentes ácidos y alcalinos, manteniéndolo constante durante la reacción.
Cuadrado de color	Ajuste de colores por medio de pruebas con material ya utilizado en máquinas rotativas.
Densidad de sólidos	Medida de la densidad de los colores puros, se determina mediante un densitómetro de refracción.
Densitómetro refractario	Dispositivo que mide el porcentaje de luz reflejada en las imágenes para medir su densidad de sólidos y la barra de grises.
Efecto sinérgico	Se da cuando una mezcla de antioxidantes mejora su capacidad en comparación con cada uno de los componentes considerados individualmente.
Emulsificación	Dispersión, a nivel coloidal, de la solución de fuente en las tintas utilizadas. Esto reduce la tensión superficial de la tinta, mejorando su fluidez entre los rodillos de impresión.
Enmascarante	Agente químico que atrapa la dureza del agua, secuestrándola y evitando que reaccione con otros compuestos.

Solución de fuente	Designación con que se conoce al agua desensibilizadora para las placas de litografía. Contiene componentes que provocan que la tinta se adhiera solamente en las áreas de imagen.
Tamponar	Es la acción amortiguadora de una solución <i>buffer</i> .

RESUMEN

El presente trabajo de investigación trata acerca de la impresión litográfica *offset* en máquinas rotativas y planas, desde el punto de vista de la ingeniería química, enfatizando la importancia de los fundamentos fisicoquímicos involucrados en el proceso.

Este tema se inició considerando una descripción general de la historia y los fundamentos básicos de la litografía, los tipos de placas (positivas y negativas), la maquinaria empleada en impresión (rotativa y plana), los accesorios de caucho como las mantillas y los rodillos, las tintas usadas en el proceso y sus componentes y otros tipos de partes móviles (engranajes y cojinetes).

El desarrollo de la investigación se enfoca en la solución de fuente, considerando sus funciones como antioxidante, desensibilizante y protectora de las placas litográficas, y emulsificante de la tinta, en relación directa con sus componentes (ácidos, sales, gomas, antioxidantes, acomplejantes y agua). Se probaron todas las combinaciones posibles de componentes y sus concentraciones, evaluando la nitidez e intensidad de color, la limpieza de impresión, el rendimiento de la placa, el desperdicio de cuadernillos y la barra de grises, como parámetros para establecer la formulación óptima, todas en triplicado. Se determinaron las concentraciones de las formulaciones efectivas por medio de una curva de calibración (conductividad versus concentración). Se observó que al aumentar la conductividad de trabajo, se incrementa la limpieza de impresión y decrece el rendimiento de la placa y la nitidez e intensidad de color. Se fijaron los rangos de pH operativos en que mejor funcionan las soluciones. La selección final se basa en criterios económicos.

OBJETIVOS

➤ **General**

Diseñar dos formulaciones óptimas de soluciones de fuente para el uso en máquinas rotativas y planas de impresión litográfica offset.

➤ **Específicos**

1. Determinar una formulación de referencia, con base en criterios bibliográficos, funcionales y de disponibilidad para ajustar las muestras experimentales.
2. Evaluar una serie de mezclas de componentes, a diferentes concentraciones, para ponerse a prueba en las máquinas de impresión plana y rotativa.
3. Evaluar la distribución de color por medio de la barra de grises de acuerdo a parámetros establecidos de entintado en la planta de producción, en función de las soluciones de fuente utilizadas.
4. Evaluar la nitidez de color (perfecto contraste con el blanco, brillantez y sin velo ni repinte), de acuerdo a un preciso balance tinta-agua, para producir rapidez de registro, limpieza y secado.

5. Evaluar la conductividad de las soluciones de fuente en función de las concentraciones estudiadas, para establecer una relación directa entre la efectividad de impresión y los costos de formulación.

HIPÓTESIS

Es posible formular localmente soluciones de fuente para impresión litográfica offset en máquinas planas y rotativas, con la composición adecuada, para optimizar la nitidez y la distribución de los colores.

INTRODUCCIÓN

La impresión *offset* es un proceso físico-químico basado en la inmiscibilidad del agua y las tintas, sin utilizar relieves, como en la tipografía, sino más bien reacciones químicas, para lograr trabajar las imágenes en positivo, en el mismo plano que las áreas de no impresión. Los equipos utilizados para realizar este tipo de producción son altamente sofisticados y costosos, con el fin de lograr una alta calidad y eficiencia que permita competir en los mercados actuales, cada vez más exigentes.

Todas las etapas del proceso de impresión siguen una secuencia lógica. En la mayoría de las empresas a nivel local, no se cuenta con la tecnología a la altura de las circunstancias. Actualmente se están siguiendo tendencias hasta cierto punto tradicionales y artesanales, sin que hasta ahora haya sido objeto de estudio profundo desde el punto de vista de la ingeniería química. Si se conociera el porqué de los fenómenos y de los problemas técnicos, se podrían tomar inmediatamente las medidas para darles solución.

En Guatemala se utilizan productos importados, de alto costo y composición química indefinida y de difícil control. Con el objeto de obtener una impresión perfecta (limpia, con perfectos contrastes entre los colores y el fondo, con un registro exacto y preciso y en general de una calidad óptima) se utiliza un producto desensibilizante, conocido comercialmente como solución de fuente o agua de mojado, cuya función es emulsificar la tinta con el agua, evitando la oxidación de las placas utilizadas en la impresión por contacto con el oxígeno del aire, y también limpiar perfectamente las áreas de no imagen, permitiendo que la tinta se adhiera a las imágenes en positivo que pasarán a las mantillas de caucho que las imprimirán directamente al papel.

En este tipo de impresión se utilizan máquinas rotativas de gran velocidad para imprimir periódicos, revistas y suplementos de alta circulación, las cuales utilizan bobinas de papel, así como máquinas planas, que con pliegos de papel cortado producen trabajos más sofisticados, como empaques, etiquetas, afiches, etc.

La finalidad de este trabajo de investigación es formular a nivel local con materias primas nacionales y con costos razonables y competitivos las soluciones de fuente para máquinas rotativas y planas.

1. JUSTIFICACIÓN

La calidad de la impresión *offset* es un tema que no ha sido tratado desde el punto de vista de la ingeniería química y se ha limitado a un enfoque artesanal, sin profundizar en los fenómenos físico-químicos involucrados. A tanto ha llegado el desinterés que actualmente no se han hecho investigaciones en la escuela de ingeniería química que traten este tema. Solamente se han tocado consideraciones industriales, las cuales no se enfocan en la tecnología característica de este tipo de impresión, dejando en manos de los proveedores las recomendaciones pertinentes acerca de cómo operar y qué productos utilizar.

Por tal razón, un trabajo de investigación como el que se pretende realizar expresará en forma clara los principios científicos que intervienen en la impresión *offset*, dando los lineamientos técnicos para un mejor control de la misma. Se formularán dos soluciones de fuente (una para máquinas planas y otra para rotativas), a nivel local y con precios competitivos, que permitan a los industriales guatemaltecos (grandes y pequeños) utilizar productos de fácil adquisición y control en operación, para las máquinas utilizadas en la litografía *offset*, que dé una óptima calidad y mejore los costos de impresión mediante el control constante de parámetros, en forma conciente.

Se pretende que estos productos brinden excelente calidad, nitidez de los colores y optimicen el número de ejemplares impresos, al reducir el desperdicio de materia prima (papel, tinta y placas).

La formulación de estos químicos hará posible a las empresas dedicadas a la impresión *offset* y litográfica adquirir productos de mejor costo que los químicos importados, abriendo un nuevo mercado para la industria nacional.

Esto beneficiará al gremio litográfico que podrá saber sin lugar a dudas, qué efectos provocará la dosificación del producto en sus equipos, pudiendo analizarlos químicamente antes de hacer pedidos significativos, sin afrontar problemas de importación, mediante la asesoría adecuada.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico específico

2.1.1. Solución de fuente

El principio de la impresión litográfica *offset* es el rechazo que hay entre la tinta (a base de grasas) y el agua. Pero no se trata de agua común, sino de una solución acuosa, con componentes capaces de evitar que la placa se oxide; hacer que sólo las áreas de imagen reciban la tinta; formar una emulsión con la tinta para imprimir y adherirse como una capa protectora a la superficie de no imagen. Por todas estas razones es de primordial importancia formular correctamente la solución, pues de esto depende que la impresión sea satisfactoria.

Se necesitan dos tipos de formulación para la solución de fuente: una para máquinas planas y otra para máquinas rotativas. La solución para máquinas rotativas contiene una goma que le da a las placas litográficas una protección contra la abrasión del proceso. En las máquinas planas se trabaja con un tipo distinto de tintas (similares a las tintas de horneado), que necesitan mayor temperatura para secar. La humedad ambiental retarda considerablemente el secado de estas tintas, por lo cual es necesario agregar a la formulación un componente volátil para mejorar el tiempo de secado y evitar manchas por contacto en el material en proceso. La presencia de goma en esta formulación es indeseable, pues se aglomera por la disminución de la tensión superficial, provocada por el agente volátil (isopropanol), no llegando a cubrir la placa. Las placas en la impresión plana no necesitan mayor protección contra la abrasión, ya que el volumen de producción es menor.

2.1.1.1. Funciones de la solución de fuente

- Suministro uniforme y suficiente de una película de agua sobre la placa para que se alcance un equilibrio tinta-agua
- Hacer receptiva al área de no imagen únicamente a la solución de fuente
- Evitar que se adhiera la tinta a las áreas de no imagen y permitir su fácil limpieza
- Tener una tensión superficial adecuada que permita la rápida dispersión a través de los rodillos de la rotativa, humectándolos por medio de una película uniforme y fina en toda la superficie, que permita una aplicación perfecta en toda la placa
- Disminuir el desgaste por fricción de los rodillos al lubricar y prevenir la acumulación excesiva de tinta seca y fibras de papel sobre la mantilla
- Evitar una emulsificación exagerada de la tinta al mezclarse con el agua y no permitir que los componentes de la misma se separen, de tal forma que los pigmentos queden libres y se emulsifiquen lo necesario

2.1.1.2. Componentes de la solución de fuente

El agua es la base de la solución y mantiene húmeda y libre de tinta el área de no imagen. Pero no basta el agua por sí misma para tener el efecto y la calidad deseados. Se necesitan también ingredientes que desensibilicen las áreas de no imagen de la placa de aluminio para hacerla hidrofílica, es decir, para que la solución se adhiera con facilidad a ella.

Los componentes son: las gomas solubles en agua, como la goma arábica, que trabaja sin riesgos con valores de pH entre 3.5 y 4.5, pues esta goma tiene afinidad por el aluminio en este rango. Actúa en la forma química de ácido arábico, el cual es producido al reaccionar la goma con ácido clorhídrico (Whistler, 1973.213). También se pueden utilizar polímeros solubles en agua, tales como: las gomas de alerce, almidones, carboximetil celulosa (CMC), polivinil propileno (PVP), y algunos acrílicos. Para mantener este rango fijo de valores de pH se necesita una solución amortiguadora o *buffer* (comercialmente a pH 7), compuesta por ácido ortofosfórico y ortofosfato trisódico. Agregando HCl, se logra un mejor funcionamiento de la solución a pH 4.5 y 5.5.

La tinta tiene componentes grasos (no polares) que evitan que se mezcle con el agua (polar). Pero como las sustancias se mezclan con las de su misma especie, es necesario añadir a la tinta componentes afines con el agua y ésta debe contener mayor concentración iónica en solución para poder repeler lo necesario de las áreas de no imagen y emulsificarse lo suficiente con ella. Esto se logra añadiendo sales como los silicatos (SiO_4) y los fosfatos (PO_4^{-3}). Estas sales desensibilizan la placa de aluminio y su concentración puede evaluarse indirectamente por medio de la conductividad eléctrica, ya que la cantidad de corriente que pasa a través de la solución es directamente proporcional a la concentración de iones existente en ella y a su capacidad de rechazo de la tinta.

El agua con que se diluye la formulación en la práctica, tiene una dureza de 200 ppm, lo cual indica que los cationes Ca^{++} y Mg^{++} reaccionarán con el ión ortofosfato formando lodos. Esto se remedia agregando a la formulación un compuesto acomplejante (quelante) que reacciona con ellos.

El ácido etilendiaminotetracético (EDTA) es un compuesto tetraprótico que reacciona en relación 1:1 con los cationes, especialmente los divalentes, con los cuales forma compuestos estables (Ayres, 1970.126, 366).

En este tipo de soluciones es muy importante el uso de antioxidantes tales como el butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT) y el butilhidroxi-quinona (BHQ), entre otros. Se ha comprobado que la efectividad antioxidante de cada uno de estos compuestos se ve claramente superada por la combinación con otros antioxidantes, es decir, hay un efecto sinérgico (Dergal, 1981.196). Por ejemplo, las combinaciones BHA/BHT funcionan mejor que ambos antioxidantes por si solos y su costo relativo se ve reducido.

2.2. Antecedentes

2.2.1. Impresión litográfica offset

La impresión litográfica fue desarrollada en 1798 por Aloys Senefelder, inspector cartográfico alemán. El descubrió que al hacer una ilustración sobre una plancha plana de piedra caliza con un lápiz graso, ésta atraía la tinta cuando se humedecía, mientras las demás zonas la repelían. Poniendo en contacto la piedra con papel se podía reproducir dibujos. Actualmente se han sustituido las planchas de piedra caliza por placas de aluminio fotosensibles usando además rodillos de caucho para montarlas.

Este tipo de impresión es muy distinta a la tipografía, que hace uso de relieves para lograr la impresión de áreas de imagen. La litografía hace uso del principio químico de la inmiscibilidad y adhesión de varios compuestos en solución acuosa para lograr la impresión a través de una plancha plana de aluminio donde las áreas de imagen están al mismo nivel que las de no imagen

Las áreas de impresión están receptivas a la tinta y repelen el agua, mientras que las superficies de no impresión sólo reciben agua y se evita que se manchen de tinta.

El proceso de impresión depende de las condiciones físico-químicas con que se trabaje, por ejemplo, el pH del agua, la alcalinidad del papel, la dureza del agua, la formulación de la tinta, el sistema de dosificación del agua de mojado y el tipo de placa utilizada.

Las máquinas utilizadas para este tipo de impresión usan cilindros que giran transportando las tintas y la solución de fuente de uno a otro hasta tener contacto con el papel y formar las mezclas de colores.

La placa se monta sobre un cilindro que permite el giro de la misma durante el tiraje. Ésta pasa continuamente por un sistema de humectación a presión.

El agua de mojado se adhiere a las áreas de no imagen cubriendo la superficie con una fina capa de líquido. Simultáneamente la placa es entintada por un rodillo para este propósito, impregnando las zonas de imagen a imprimir. Al recibir tinta la placa transfiere dichas imágenes a la mantilla de hule y a presión la transfiere al papel de la bobina. El proceso se realiza con cuatro colores: cian, magenta, amarillo y negro, que sobrepuestos en diferentes proporciones por punto logran crear el efecto de una variedad de colores, tantos como se requieran.

2.2.2. Placas litográficas

La impresión en litografía *offset* se lleva a cabo a través de planchas planas donde son grabadas las imágenes en positivo, que vienen de los negativos. Se distinguen las áreas de imagen de las demás, solamente por la afinidad química que cada una tiene. Las áreas de imagen son oleofílicas, es decir, se adhieren las grasas de las tintas; las de no imagen son hidrofílicas, es decir, tienen afinidad por el agua de mojado o solución de fuente. La limpieza de la impresión final depende directamente que lo anterior se cumpla, evitando así zonas de no imagen manchadas, velo, etc.

Las placas litográficas tienen una base de aluminio y una de sus caras se trata química y mecánicamente para formar cavidades pequeñísimas (graneado). Al aplicar una solución ácida forma cavidades superiores recubiertas con óxido de aluminio, a lo cual se le llama anodizado.

Superficialmente se cubre con una capa fina de un material fotosensible llamado emulsión, que permite el grabado de imágenes negativadas por exposición a luz ultravioleta (insolado), revelándose posteriormente con soluciones químicas para ser impresas en papel.

Existen dos tipos de placas: positivas y negativas. Esto depende de si la película usada para exponerlas es positiva o negativa.

a. Placas positivas

En este tipo de placas la emulsión está formada por compuestos de benzoquinondiazo, insolubles en revelador. Este compuesto, en presencia de luz ultravioleta, reacciona formando el ácido indolcarboxílico.

El ácido es fácilmente disuelto por una solución alcalina, debido al grupo carboxílico -COOH presente en la misma, dejando al descubierto el anodizado de la plancha. Al finalizar, ésta es protegida por una capa de goma antioxidante. Este tipo de placas se utiliza para tirajes largos o se imprime sobre cartón, ya que se requiere alta resistencia a la abrasión. Esto es posible por la formación de un polímero a temperaturas mayores a los 200°C llamado baquelita.

b. Placas negativas

Estas placas se caracterizan por la presencia de una emulsión blanda que endurece al tratarla con luz ultravioleta. Existen placas sustractivas (o fotopolímeras) y aditivas (o de diazotipo). Las placas de diazotipo son hechas a base de cloruro de bencildiazonio, que pierde el grupo diazo, provocando la unión de los grupos bencénicos, lo cual endurece la emulsión y la placa queda protegida contra la oxidación.

Las placas fotopolímeras contienen una emulsión a base de un grupo vinilo con un carbono insaturado en la posición β . La luz ultravioleta rompe este doble enlace formando carbonos insaturados en el revelador. Se forma más de un enlace de carbono, por lo cual puede darse una segunda exposición para extender la capacidad de tiraje de la placa.

2.2.3. Máquinas rotativas

Este es un tipo especial de impresora industrial que utiliza rodillos y mantillas para transferir las imágenes de las placas al papel de bobina y consta de las partes descritas a continuación.

- Soportes para las bobinas de papel que alimentan la máquina. Éstos ajustan la banda y la mantienen lo necesariamente tensionada.
- Un equipo de entintado de la máquina, que consta de dos cilindros de mantillas (hule), los cuales transfieren la tinta de la placa al papel embobinado. Son intermediarios en la impresión. La mantilla tiene un espesor aproximado de 1.96 mm y debe ser incompresible y resistente a la abrasión.
- Un circuito de tinta que transporta la tinta desde los recipientes contenedores (o bidones) hasta los tinteros manuales o mecánicos. El flujo de tinta se regula con una lámina de acero que disminuye o aumenta la capa de tinta.
- Los dados y batidores mantienen uniforme la capa de tinta sobre la placa litográfica.
- Un doblador que al mismo tiempo corta el papel en cuadernillos. Este dispositivo incluye un contador digital que ayuda a saber con certeza la cantidad de cuadernillos impresos por tiraje (óptimo para control de eficiencia y desperdicio).
- Circuitos de aire que regulan la presión para succionar el papel y así transportarlo por toda la maquinaria.

2.2.4. Máquinas planas

La impresión *offset* puede llevarse a cabo por procesos continuos (máquinas rotativas) así como por procesos en lote (máquinas planas).

Las máquinas planas se utilizan para imprimir afiches, empaques, etiquetas, catálogos y cualquier producto comercial requerido por los clientes, en cantidades y tiempo establecidos.

Estas máquinas, en su mayoría, trabajan en dos tandas de dos colores cada una. Primero se imprime el magenta y el cian. Después de limpiar los rodillos y todo el equipo, se imprime con amarillo y negro para completar el tiro. Estas máquinas no usan bobinas de papel. El material a imprimir es ingresado ya cortado en planchas.

2.2.5. Mantillas para impresión litográfica

Alrededor de 1950 se desarrolló una forma de transferir la imagen entintada al papel: una superficie intermediaria llamada mantilla. Este elemento de caucho se adapta a la textura de la superficie de la placa de impresión, dando como resultado imágenes de gran calidad y resolución.

En la impresión litográfica es imprescindible que las mantillas de caucho no se expandan con el calor, porque por medio de ellas es transferida la imagen al papel embobinado y la impresión se puede distorsionar. Además, pueden crear una imagen fantasma (aparición repentina en un tiraje posterior de una imagen borrosa del tiraje anterior), por fallas en el ajuste de los colores uno sobre el otro (registro).

Una mantilla está compuesta habitualmente de dos, tres o cuatro lejías de tejido textil recubiertas con una fina capa de caucho sintético. Esta capa se añade al tejido con sesenta a ochenta revestimientos muy delgados, de un componente del caucho que contiene un solvente, que al secarse por evaporación se comprime.

El caucho está compuesto por un elastómero sintético llamado industrialmente Buna-N mezclado con pigmentos, suavizantes o plastificantes, aceleradores y agentes vulcanizantes.

Comercialmente existen dos tipos de mantillas: las convencionales y las compresibles. Las segundas son las más utilizadas en la impresión offset, debido a que no se pandean cuando giran tanto como las primeras.

2.2.6. Rodillos

Son cilindros fabricados de caucho, acero o bronce. Son utilizados en impresión *offset* para transferir las tintas; impregnando la placa de aluminio y así imprimir la imagen en la mantilla. Sus materiales componentes le permiten mantenerse sin expansión alguna y evitar que al tener contacto con la tinta éstos se peguen.

2.2.7. Otras partes móviles del equipo de impresión

2.2.7.1. Engranajes

Los engranajes se fabrican en formas cilíndricas dentadas que hacen posible el movimiento mecánico giratorio de un lugar de la maquinaria a otro transmitiendo energía eléctrica en forma mecánica a través del eje. Existen engranajes planetarios, cónicos y helicoidales (Perry 1992.24-51).

2.2.7.2. Cojinetes

Son piezas metálicas (o de otro material) que sirven de apoyo al eje de transmisión para que gire reduciendo la fricción, debida al movimiento.

Hay dos tipos de cojinetes: de bolas (o rodillos) y de camisa (o hidrodinámicos). Los primeros no necesitan que se les suministre continuamente lubricante. Los de camisa trabajan con un eje que gira de forma concéntrica a un cilindro exterior que lo soporta, recibiendo un suministro continuo de lubricante desde la parte superior. El aceite lubricante evita que el eje giratorio toque al cilindro externo, por presión del mismo eje. Estas presiones a las que está sometido el lubricante aumentan su temperatura considerablemente siendo necesario un flujo constante para eliminar el exceso de calor.

2.2.8. Tintas litográficas

Las tintas son sustancias hechas a base de grasas y aceites semisecantes, compuestas por materiales sólidos que se aplican por medios mecánicos sobre diversos materiales como papel bond, papel periódico, cartón, etc., con el objetivo de imprimir una imagen.

2.2.8.1. Composición de las tintas

Las tintas tienen componentes líquidos y sólidos que cumplen diferentes funciones y además le dan características especiales a la tinta. Estos componentes se enumeran a continuación.

- Ceras. Le dan a la tinta resistencia al roce al quedar seca, evitando que se manche o pegue al apilar el periódico.
- Grasas y aceites lubricantes. Reducen la viscosidad y la tensión superficial de la tinta y favorecen el secado inicial de la misma.
- Antioxidantes. Hacen que la tinta seque uniformemente, evitando así la formación de piel en la prensa (secado superficial de la tinta).

- Pigmentos. Dan el color y el cubrimiento a la tinta así como sus propiedades características (gravedad específica, opacidad y otras).
- Vehículo. Es el medio por el cual se dispersan los pigmentos y aditivos. Se hacen a base de hidrocarburos de cadena larga. Es una mezcla balanceada de resinas, aceites lubricantes, aceites secantes y minerales.

2.2.8.2. Tinta y características de la litografía *offset*

La composición de la tinta está fuertemente influenciada por dos características de la impresión litográfica.

- Se imprime con capas de tinta muy delgadas, por lo tanto el poder colorante de las mismas debe ser muy alto, es decir, debe tener gran concentración de pigmentos. Al mismo tiempo la tinta debe ser fluida para ser transportada de rodillo en rodillo.
- La tinta debe trabajar bien estando en contacto con el agua de mojado o solución de fuente. En proceso, la tinta puede mezclarse con el agua hasta cierto porcentaje. Esto sucede porque el agua de mojado cubre toda la placa, pero aunque sólo se adhiere a las áreas de no imagen, siempre queda un poco de agua en las zonas de impresión. La tinta no debe perder sus propiedades por esta causa, por lo cual debe formularse tomando en cuenta estos inconvenientes.

2.2.8.3. Características de las tintas litográficas

Para que una tinta funcione adecuadamente en el proceso litográfico de impresión debe reunir las siguientes características.

- Alto poder colorante en capas finas
- Buenas propiedades de flujo de fluidos
- Tolerancia al agua de mojado hasta de un 20 % en volumen, sin alterar demasiado sus propiedades físico-químicas
- Presencia de partículas finísimas de pigmentos dispersados
- Insolubilidad en agua y ácidos orgánicos e inorgánicos débiles
- Corto tiempo de secado en el papel
- Que no se seque estando aún en los rodillos, evitando así la formación de piel

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria periodística e impresión comercial es necesario obtener una calidad excelente de impresión y un máximo de aprovechamiento de la materia prima e insumos por cada tiraje. Para cumplir esta finalidad, es imprescindible la formulación precisa de soluciones químicas capaces de lograrlo con efectividad.

Este problema se solventa fabricando una solución de fuente o agua de mojado que reduzca al máximo las manchas en las áreas de no impresión y permita un buen registro o sobreposición de colores en las impresiones. Esta solución debe formularse, graduando por varias mezclas de soluciones y ensayando con el equipo, hasta conseguir el porcentaje indicado de los componentes tales como gomas, ácidos orgánicos e inorgánicos, sales y antioxidantes necesarios para cumplir la función requerida, pues de esta mezcla depende el pH y la conductividad a la que se debe trabajar en el área de producción.

La mejor formulación se juzgará por la nitidez e intensidad de color, la limpieza de la impresión y la duración de las placas litográficas, es decir, el número de ejemplares que es capaz de imprimir sin desgastarse, la cantidad de cuadernillos necesarios para llegar al primer ejemplar óptimo (desperdicio), así como la barra de grises. Deben hacerse dos variaciones de esta solución, ya que las máquinas rotativas trabajan en condiciones muy distintas a las máquinas planas, como se indicó en la sección del marco teórico.

Este breve trabajo de investigación beneficia a las empresas dedicadas a la impresión litográfica *offset*, ya que se reducen los costos de importación y aduana fabricando estos productos en el país.

4. METODOLOGÍA

Las mezclas experimentales se harán partiendo de un fórmula básica, sugerida por las necesidades fisicoquímicas del proceso de impresión, la literatura relacionada con el tema y la disponibilidad de compuestos químicos afines en el mercado local.

4.1. Insumos

4.1.1. Solución de fuente para máquinas rotativas

Se prepararon 8 muestras de 5 galones cada una, mezclando los componentes en una forma que, estadísticamente, abarcara todas las combinaciones posibles de valores. A continuación se indican características de los componentes y los porcentajes utilizados de cada uno en la fórmula (ver tabla I).

- Ortofosfato trisódico: se utilizaron concentraciones de 8 y 10 % en peso para las pruebas.
- Ácido ortofosfórico: se usó a un 3 % en peso para formar una solución *buffer* con la sal fosfatada trisódica.
- Ácido clorhídrico: sirve para establecer el pH en 5.5 y se usó en una concentración de 2.8 % en peso.
- Laurilsulfato de sodio: es un agente tensoactivo importante para mejorar la tensión superficial de la emulsión tinta-agua, se incluyó en un 3.0 % en peso en la pruebas de impresión.

- Etilendiaminotetracetato disódico (EDTA): se utilizó la sal disódica del EDTA como agente acomplejante (atrapando cationes divalentes), en una concentración constante de 5 % en peso en todas las muestras.
- Butilhidroxianisol (BHA)/Butilhidroxitolueno (BHT): se utiliza esta combinación en concentraciones de 0.1 y 0.35 % como agente antioxidante. La suma de los dos da mejores resultados que cada uno de ellos individualmente.
- Carboximetil celulosa (grado 1,000): es un sustituto sintético de las gomas naturales, debido a su menor costo. Se añadió en un 1 % de concentración en peso.
- Goma arábica: es la goma más utilizada en las formulaciones de solución de fuente comerciales, debido a la mayor estabilidad que muestra en sus combinaciones con los otros componentes. Se utilizó una concentración de 1 % en peso.

Tabla I. Formulaciones de solución de fuente para máquinas rotativas.

Materias primas	% peso	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈
Ácido ortofosfórico (H ₃ PO ₄)	3.0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ácido clorhídrico (HCl)	2.8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Laurilsulfato de sodio (CH ₃ (CH ₂) ₁₁ -O-SO ₃ ⁻ Na ⁺)	3.0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Etilendiaminotetracetato disódico (EDTA)	5.0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ortofosfato trisódico (Na ₃ PO ₄)	8.0	✓	✓	✓	✓				
Ortofosfato trisódico (Na ₃ PO ₄)	10.0					✓	✓	✓	✓
Butilhidroxianisol(BHA)/Butilhidroxitolueno(BHT)	0.1	✓	✓			✓	✓		
Butilhidroxianisol(BHA)/Butilhidroxitolueno(BHT)	0.35			✓	✓			✓	✓
Carboximetil celulosa grado 1000 (CMC)	1.0	✓		✓		✓		✓	
Goma arábica	1.0		✓		✓		✓		✓

4.1.2. Solución de fuente para máquinas planas

Se prepararán cuatro muestras de un galón cada una, combinando los componentes de la mejor forma estadística posible. Se da un listado de los mismos y sus porcentajes de concentración a continuación (ver tabla II).

- Ortofosfato trisódico: se utilizaron concentraciones de 8 y 10 % en peso para las pruebas.
- Ácido ortofosfórico: se usó a un 3.5 % en peso para formar una solución *buffer* con la sal fosfatada trisódica.
- Ácido clorhídrico: sirve para establecer el pH en 5.5 y se usó en una concentración de 3.0 % en peso.
- Laurilsulfato de sodio: es un agente tensoactivo importante para mejorar la tensión superficial de la emulsión tinta-agua, se incluyó en un 3.0 % en peso en la pruebas de impresión.
- Etilendiaminotetracetato disódico (EDTA): se utilizó la sal disódica del EDTA como agente acomplejante (atrapando cationes divalentes), en una concentración constante de 5 % en peso en todas las muestras.
- Butilhidroxianisol (BHA)/Butilhidroxitolueno (BHT): se utiliza esta combinación en concentraciones de 0.1 y 0.35 % como agente antioxidante. La suma de los dos da mejores resultados que cada uno de ellos individualmente.

Tabla II. Formulaciones de solución de fuente para máquinas planas.

Materias primas	% peso	M₁	M₂	M₃	M₄
Ácido ortofosfórico (H ₃ PO ₄)	3.5	✓	✓	✓	✓
Ácido clorhídrico (HCl)	3.0	✓	✓	✓	✓
Laurilsulfato de sodio (CH ₃ (CH ₂) ₁₁ -O-SO ₃ ⁻ Na ⁺)	3.0	✓	✓	✓	✓
Etilendiaminotetracetato disódico (EDTA)	5.0	✓	✓	✓	✓
Ortofosfato trisódico (Na ₃ PO ₄)	8.0	✓	✓		
Ortofosfato trisódico (Na ₃ PO ₄)	10.0			✓	✓
Butilhidroxianisol(BHA)/Butilhidroxitolueno(BHT)	0.10	✓		✓	
Butilhidroxianisol(BHA)/Butilhidroxitolueno(BHT)	0.35		✓		✓

4.2. Instrumentos

a. Materiales y reactivos

- Bobinas de papel periódico
- Placas de aluminio presensibilizadas
- Tintas litográficas (cian, magenta, amarillo y negro)
- Negativos revelados
- Materias primas de la solución: agua, ácidos, sales, acomplejantes, gomas (en máquinas rotativas) y antioxidantes

b. Maquinaria y equipo

- Tanque de 1000 litros de capacidad para contener la solución final
- Densitómetro de refracción
- Conductímetro

- Máquina insoladora de placas con luz ultravioleta para la fijación de las áreas de imagen
- Máquina reveladora de placas para limpiar las áreas no fijadas en la insolación
- Máquina rotativa de cuatro unidades
- Máquina plana de dos colores

4.3. Procedimiento experimental

a. Curva de calibración de concentración versus conductividad

Se van a hacer pruebas para distintos valores de conductividad de trabajo, en función de la concentración (oz/gal) de solución a nivel comercial, para establecer una correlación de operación en las máquinas planas y rotativas.

b. Preparación de la solución en la planta de producción

En máquinas rotativas se diluirá aproximadamente, según datos prácticos, de un 2 a 3% en peso de concentración, aforando a 1,000 litros de solución de trabajo.

En máquinas planas se diluirá la solución entre aproximadamente un 3 a 4 % en peso (en la práctica), aforando hasta 100 litros de solución de trabajo.

c. Pruebas de impresión

En las máquinas rotativas se imprimirá en papel embobinado, utilizando planchas litográficas de aluminio presensibilizadas y se trabajará con las cuatro tintas de colores utilizadas en prensa (cian, magenta, amarillo y negro). Estas pruebas se harán en la noche, cuando la producción es mayor.

En las máquinas planas se utilizarán pliegos de papel bond, cartulina y cartón para imprimir pedidos comerciales de clientes. Estas pruebas se realizarán en el día, cuando normalmente se trabaja la impresión comercial.

d. Medición de densidad de color

A los ejemplares impresos, con cada muestra de solución en ambas máquinas, se les medirá la densidad de color, para conocer su nitidez de acuerdo a patrones establecidos en la industria del periódico.

e. Evaluación de las impresiones

Se va a evaluar el número de ejemplares que se puedan imprimir con una sola placa litográfica para conocer la capacidad antioxidante de la solución de fuente. La limpieza de cada impresión se tomará en cuenta para calificar la efectividad de la solución para repeler la tinta de las áreas de no imagen. Se formulará la solución que dé los mejores resultados y que al mismo tiempo sea lo más económica posible.

5. RESULTADOS

Con el objetivo de evaluar la formulación óptima de solución de fuente, tanto para máquinas rotativas como planas, se analizaron las características descritas a continuación, algunas de ellas mensurables y otras puramente cualitativas, en lo que la impresión se refiere.

- Nitidez e intensidad del color.
- Limpieza de la impresión.
- Rendimiento de la placa, lo cual depende de la conductividad eléctrica en la solución final, que equivale a la concentración de sales en la misma.
- Cuadernillos desperdiciados por arranque, cuyo resultado es el índice de una rápida y eficiente limpieza de la placa, en lo que al alcance del primer cuadernillo óptimo por tiro se refiere.
- Barra de grises, se refiere a la óptima distribución de los colores para obtener una impresión precisa. Normalmente se define un rango en función de parámetros establecidos (por pruebas de comparación con estándares internacionales en la planta), para alcanzar un colorido apreciado por los lectores.

Los resultados se tabularon en triplicado, ya que se llevaron a cabo pruebas en tres tirajes diferentes; los valores tomados de la barra de grises son el promedio de las lecturas tomadas cada 5,000 cuadernillos en tres puntos distintos de la misma (superior, intermedio e inferior), donde deben obtenerse parámetros, dentro del rango mencionado para cada uno de los tres colores analizados.

En el caso de la nitidez e intensidad de color y la limpieza de impresión, se definió una escala de calificación de 0 a 10 para determinar el grado de excelencia de cada una de estas mediciones en lo que a cada formulación se refiere, en todas y cada una de las pruebas realizadas.

En las máquinas planas no se reportan cuadernillos desperdiciados por arranque, debido a que la perfecta distribución de colores se alcanza utilizando pliegos reciclados, con el fin de disminuir este costo. Además, el registro se alcanza en no más de un 0.5 % de los pliegos a imprimir. Tampoco se usa barra de grises, porque se emplean pruebas de color impresas previamente aprobadas por los clientes. Con el fin de realizar pruebas cuyos parámetros sean lo más cuantificables posible, se utilizó en estos casos la barra en mención. Los parámetros son más altos, ya que el lineaje de impresión es mayor (135 líneas/pulg² para arriba, mientras que en rotativa no pasa de 85 líneas/pulg², para periódicos); en máquina plana los colores son más intensos y brillantes, debido a su mayor resolución.

Tabla III. Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 2,500 mS/m.

Muestra	Nitidez e Intensidad del color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (50,000 Máx.)	Cuadernillos desperdiciados por arranque	Barra de grises (Promedio)		
						Cian (65 – 75%)	Magenta (65 – 75%)	Amarillo (65 – 75%)
1	4	6	3.36	32,698	1,625	72	65	73
	4	7	3.54	32,733	1,608	69	71	67
	4	6	3.41	32,589	1,632	70	68	66
2	5	4	3.61	33,903	1,582	71	68	65
	5	5	3.55	34,033	1,531	67	66	68
	5	4	3.52	33,959	1,499	68	67	66
3	5	5	4.02	37,931	1,001	69	71	70
	5	6	3.67	38,012	998	71	68	71
	5	6	3.83	37,827	982	68	67	75
4	6	6	4.53	39,831	933	69	70	66
	6	6	4.25	39,626	910	70	73	65
	6	6	4.35	40,023	917	71	72	70
5	4	5	4.34	35,987	1,401	74	71	68
	4	5	4.41	36,017	1,382	66	67	69
	4	4	4.57	35,759	1,371	72	67	72
6	5	4	4.58	37,232	1,030	69	69	68
	5	5	4.56	36,995	1,045	73	65	70
	5	5	4.61	37,010	1,101	74	66	71
7	6	6	4.77	41,939	803	65	62	70
	6	8	4.64	42,068	857	65	68	68
	6	7	4.68	41,767	823	66	66	67
8	7	8	5.00	44,225	700	71	66	70
	7	8	4.95	44,682	688	69	65	68
	7	7	5.02	43,988	739	70	67	67

Tabla IV. Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 2,200 mS/m.

Muestra	Nitidez e Intensidad del color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (50,000 Máx.)	Cuadernillos desperdiciados por arranque	Barra de grises (Promedio)		
						Cian (65 – 75%)	Magenta (65 – 75%)	Amarillo (65 – 75%)
1	5	5	2.91	33,083	1,110	73	66	67
	4	5	2.81	33,149	1,098	69	68	70
	5	4	2.77	32,995	1,046	67	68	71
2	6	4	3.23	34,782	1,039	72	71	66
	5	4	3.33	35,025	1,062	68	70	67
	5	4	3.19	34,839	1,085	65	66	72
3	5	5	3.61	38,706	821	74	75	69
	6	5	3.70	39,039	811	66	65	65
	5	5	3.88	38,941	838	67	70	67
4	6	5	3.98	41,281	777	73	71	68
	7	5	4.07	41,129	765	69	65	66
	6	6	4.11	41,025	799	66	67	65
5	7	8	4.11	35,333	949	70	69	71
	6	8	3.88	35,957	961	73	67	67
	8	8	4.39	35,817	957	65	73	75
6	7	8	4.32	35,935	935	69	68	69
	7	9	4.24	36,189	941	71	65	73
	8	8	4.25	36,079	932	74	66	74
7	7	7	4.33	42,109	812	71	67	70
	7	6	4.41	41,968	825	75	68	65
	7	6	4.52	42,001	815	66	69	67
8	9	9	4.65	45,082	703	70	65	65
	8	9	4.61	44,823	697	66	69	75
	9	9	4.53	45,128	701	72	66	72

Tabla V. Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 1,900 mS/m.

Muestra	Nitidez e Intensidad del color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (50,000 Máx.)	Cuadernillos desperdiciados por arranque	Barra de grises (Promedio)		
						Cian (65 – 75%)	Magenta (65 – 75%)	Amarillo (65 – 75%)
1	5	4	2.43	38,011	1,679	71	65	68
	5	4	2.37	38,124	1,681	74	66	69
	5	3	2.44	37,932	1,693	65	67	75
2	5	3	3.09	40,498	1,569	70	69	66
	6	4	2.71	40,552	1,573	73	72	73
	5	4	2.88	40,634	1,587	66	75	65
3	5	5	3.10	42,987	1,046	71	69	70
	6	5	3.08	43,195	1,032	67	67	75
	6	3	3.15	43,232	1,048	68	70	71
4	7	5	3.32	44,982	945	67	65	74
	6	5	3.41	45,034	941	65	70	70
	7	5	3.35	44,873	938	71	74	73
5	5	5	3.45	41,003	1,408	69	65	65
	6	5	3.37	41,328	1,398	66	73	68
	6	4	3.40	41,221	1,412	67	74	71
6	6	6	3.56	41,981	1,287	70	69	66
	6	5	3.45	42,372	1,251	67	65	72
	6	5	3.66	42,444	1,213	72	71	75
7	7	6	4.17	45,984	864	65	75	74
	8	7	4.21	46,268	859	68	66	69
	7	6	4.13	46,324	861	70	68	67
8	8	8	4.34	47,025	715	65	69	70
	8	7	4.29	46,968	708	74	73	68
	7	8	4.37	47,625	732	70	71	71

Tabla VI. Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 1,600 mS/m.

Muestra	Nitidez e Intensidad del color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (50,000 Máx.)	Cuadernillos desperdiciados por arranque	Barra de grises (Promedio)		
						Cian (65 – 75%)	Magenta (65 – 75%)	Amarillo (65 – 75%)
1	5	4	2.11	39,425	1,654	72	66	68
	5	3	2.07	39,567	1,668	69	71	70
	6	3	2.19	39,334	1,672	75	69	65
2	5	4	2.67	41,986	1,512	73	70	74
	6	3	2.71	42,065	1,518	65	69	66
	6	3	2.56	42,115	1,509	74	65	71
3	7	5	2.89	45,111	1,033	71	70	69
	7	5	3.01	45,328	1,054	67	68	67
	6	3	3.02	45,502	1,048	66	68	65
4	7	5	3.10	46,022	938	70	67	72
	7	4	3.09	45,968	925	75	66	69
	7	5	3.11	46,328	921	70	71	75
5	6	5	3.18	42,737	1,414	65	74	73
	6	4	3.17	42,988	1,412	72	68	71
	6	4	3.22	43,139	1,408	67	66	69
6	6	5	3.29	44,025	1,162	70	71	66
	6	4	3.24	43,967	1,187	67	68	65
	7	5	3.26	44,381	1,205	74	75	73
7	7	6	3.35	47,373	863	71	66	65
	8	6	3.41	47,712	847	67	70	74
	8	6	3.38	47,968	854	66	71	73
8	8	7	3.48	48,087	724	72	69	68
	8	8	3.54	48,340	739	74	70	71
	8	7	3.51	48,212	751	69	72	65

Tabla VII. Resultados experimentales de la impresión en máquina rotativa con las mezclas realizadas a 1,300 mS/m.

Muestra	Nitidez e Intensidad del color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (50,000 Máx.)	Cuadernillos desperdiciados por arranque	Barra de grises (Promedio)		
						Cian (65 – 75%)	Magenta (65 – 75%)	Amarillo (65 – 75%)
1	5	3	1.98	43,609	1,598	70	69	65
	5	3	2.02	43,011	1,603	66	75	73
	5	3	1.89	42,968	1,608	68	71	72
2	6	3	2.34	44,545	1,539	67	66	69
	6	4	2.41	44,312	1,557	72	73	70
	6	3	2.29	44,802	1,546	69	68	67
3	7	4	2.72	47,549	966	66	65	70
	7	5	2.69	47,312	971	69	68	65
	7	3	2.71	47,127	953	75	74	70
4	7	4	2.91	48,639	941	68	65	66
	8	4	2.87	48,512	927	67	70	71
	7	5	2.89	48,737	931	65	72	65
5	6	4	3.05	45,218	1,402	71	70	70
	6	3	2.81	45,325	1,397	74	68	69
	7	4	2.95	45,120	1,388	71	67	71
6	6	4	3.11	46,611	1,112	73	65	66
	7	4	3.08	46,408	1,181	67	68	74
	7	4	3.07	46,673	1,201	73	66	67
7	8	6	3.11	49,561	829	71	69	70
	8	6	3.19	49,667	824	65	66	69
	8	5	3.18	49,632	832	66	69	75
8	8	6	3.40	51,104	738	72	71	70
	8	7	3.21	50,967	742	65	66	65
	9	6	3.33	51,225	737	67	68	69

Tabla VIII. Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 2,200 μ S/m.

Muestra	Nitidez e intensidad de color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (25,000 Máx.)	Barra de grises (promedio)		
					Cian (80 – 90%)	Magenta (80 – 90%)	Amarillo (80 – 90%)
1	3	5	5.22	19,767	88	81	82
	3	5	5.29	19,534	80	87	89
	4	5	5.33	19,809	83	85	86
2	5	6	5.57	21,672	90	80	81
	5	6	5.52	21,305	82	87	87
	5	7	5.69	21,764	84	80	83
3	4	6	5.81	20,667	81	84	85
	4	5	5.75	20,439	86	83	80
	5	6	5.97	20,475	82	85	87
4	6	7	6.08	22,532	86	90	84
	5	7	6.15	22,701	83	82	85
	6	7	6.11	22,687	89	88	90

Tabla IX. Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 1,900 μ S/m.

Muestra	Nitidez e intensidad de color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (25,000 Máx.)	Barra de grises (promedio)		
					Cian (80 – 90%)	Magenta (80 – 90%)	Amarillo (80 – 90%)
1	4	5	4.95	20,206	85	80	81
	5	4	4.98	20,125	83	82	80
	5	5	5.01	20,068	86	87	84
2	5	7	5.26	22,535	82	85	88
	6	6	5.15	22,581	90	89	83
	6	6	5.19	22,472	81	90	86
3	7	8	5.56	21,615	85	84	89
	7	8	5.45	21,899	90	80	84
	8	8	5.38	21,713	85	83	81
4	8	9	5.73	23,381	88	81	85
	7	8	5.85	23,506	86	89	90
	8	9	5.81	23,498	81	85	80

Tabla X. Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 1,600 μ S/m.

Muestra	Nitidez e intensidad de color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (25,000 Máx.)	Barra de grises (promedio)		
					Cian (80 – 90%)	Magenta (80 – 90%)	Amarillo (80 – 90%)
1	4	4	4.69	21,433	81	88	87
	3	4	4.72	21,561	80	90	82
	4	4	4.65	21,488	83	81	84
2	5	5	5.10	22,986	88	85	87
	5	6	5.07	23,022	82	88	83
	5	5	5.09	23,061	87	90	81
3	5	5	5.31	22,180	84	87	80
	4	4	5.16	22,205	81	82	85
	4	5	5.22	22,095	80	84	90
4	6	6	5.62	24,125	82	80	85
	6	6	5.56	24,041	90	81	87
	7	6	5.49	23,925	87	88	83

Tabla XI. Resultados experimentales de la impresión en máquina plana con las mezclas realizadas a 1,300 μ S/m.

Muestra	Nitidez e intensidad de color (1 – 10)	Limpieza de impresión (1 – 10)	Concentración de la solución final (oz/gal)	Rendimiento de la placa (25,000 Máx.)	Barra de grises (promedio)		
					Cian (80 – 90%)	Magenta (80 – 90%)	Amarillo (80 – 90%)
1	3	3	4.31	22,111	83	80	86
	3	4	4.21	22,193	82	90	85
	3	3	4.23	22,098	89	84	83
2	4	4	4.71	23,671	83	81	90
	5	5	4.82	23,406	87	89	80
	4	5	4.67	23,518	86	83	81
3	4	4	5.06	22,491	87	85	82
	3	3	5.01	22,706	85	84	88
	4	3	4.98	22,817	83	81	80
4	5	5	5.21	24,981	84	88	82
	5	5	5.24	25,128	81	90	83
	5	6	5.19	24,756	83	80	87

Tabla XII. Concentraciones promediadas a diferentes conductividades en máquinas rotativas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Concentraciones promediadas (oz/gal)							
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
2,500	3.44	3.56	3.84	4.38	4.44	4.58	4.70	4.99
2,200	2.83	3.25	3.73	4.05	4.13	4.27	4.42	4.60
1,900	2.41	2.89	3.11	3.36	3.41	3.56	4.17	4.33
1,600	2.12	2.65	2.97	3.10	3.19	3.26	3.38	3.51
1,300	1.96	2.35	2.71	2.89	2.94	3.09	3.16	3.31

Tabla XIII. Concentraciones promediadas en máquinas planas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Concentraciones promediadas (oz/gal)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
2,200	5.28	5.59	5.84	6.11
1,900	4.98	5.20	5.46	5.80
1,600	4.69	5.09	5.23	5.56
1,300	4.25	4.73	5.02	5.21

Tabla XIV. Rendimiento promedio a diferentes conductividades en máquinas rotativas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Rendimiento promedio (ejemplares)							
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
2,500	32,673	33,965	37,923	39,827	35,921	37,079	41,925	44,298
2,200	33,076	34,882	38,895	41,145	35,702	36,068	42,026	45,011
1,900	38,022	40,561	43,138	44,963	41,184	42,266	46,192	47,206
1,600	39,442	42,055	45,314	46,106	42,955	44,124	47,684	48,213
1,300	43,196	44,553	47,329	48,629	45,221	46,564	49,620	51,099

Tabla XV. Rendimiento promedio a diferentes conductividades en máquinas planas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Rendimiento promedio (ejemplares)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
2,200	19,703	21,580	20,527	22,640
1,900	20,133	22,529	21,742	23,462
1,600	21,494	23,023	22,160	24,030
1,300	22,134	23,532	22,671	24,955

Tabla XVI. Nitidez e intensidad del color promedio a diferentes conductividades en máquinas rotativas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Nitidez e intensidad del color							
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
2,500	4.0	5.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0	7.0
2,200	4.7	5.3	5.3	6.3	7.0	7.3	7.0	8.7
1,900	5.0	5.3	5.7	6.7	5.7	6.0	7.3	7.7
1,600	5.3	5.7	6.7	5.3	4.3	4.7	7.7	8.0
1,300	5.0	6.0	7.0	7.3	6.3	6.7	8.0	8.3

Tabla XVII. Nitidez e intensidad del color promedio en máquinas planas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Nitidez e intensidad del color			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
2,200	3.3	5.0	4.3	5.7
1,900	4.7	5.7	7.3	7.7
1,600	4.0	5.0	4.3	3.7
1,300	3.0	4.3	3.7	5.0

Tabla XVIII. Limpieza de impresión promedio a diferentes conductividades en máquinas rotativas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Limpieza de impresión							
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
2,500	5.0	4.3	5.7	6.0	4.7	5.3	7.0	7.0
2,200	4.7	4.0	5.0	5.3	8.0	8.4	6.3	9.0
1,900	3.7	3.7	4.3	5.0	4.3	4.7	6.3	7.7
1,600	3.3	3.3	4.3	4.7	4.3	4.7	6.0	7.3
1,300	3.3	3.3	4.0	4.3	3.7	4.0	5.7	6.3

Tabla XIX. Limpieza de impresión promedio en máquinas planas.

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/m}$)	Limpieza de impresión			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
2,200	5.0	6.3	5.7	7.0
1,900	4.7	6.3	8.0	8.7
1,600	4.0	5.3	4.7	6.0
1,300	3.3	4.7	3.3	5.3

Figura 1. Concentración final de solución vs. conductividad en máquinas rotativas a 5.5 de pH.

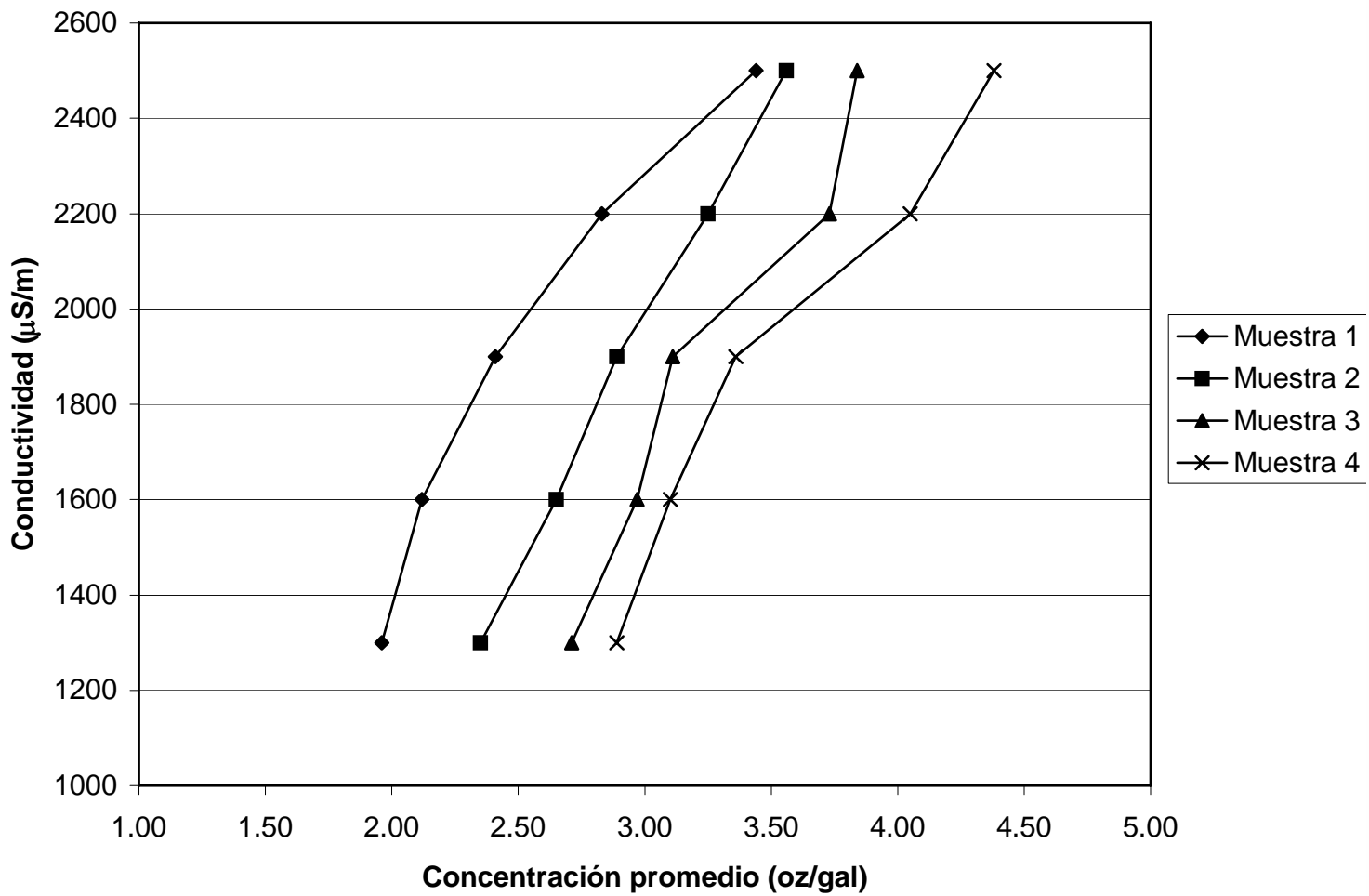


Figura 2. Concentración final de solución vrs. conductividad en máquinas rotativas a 5.5 de pH.

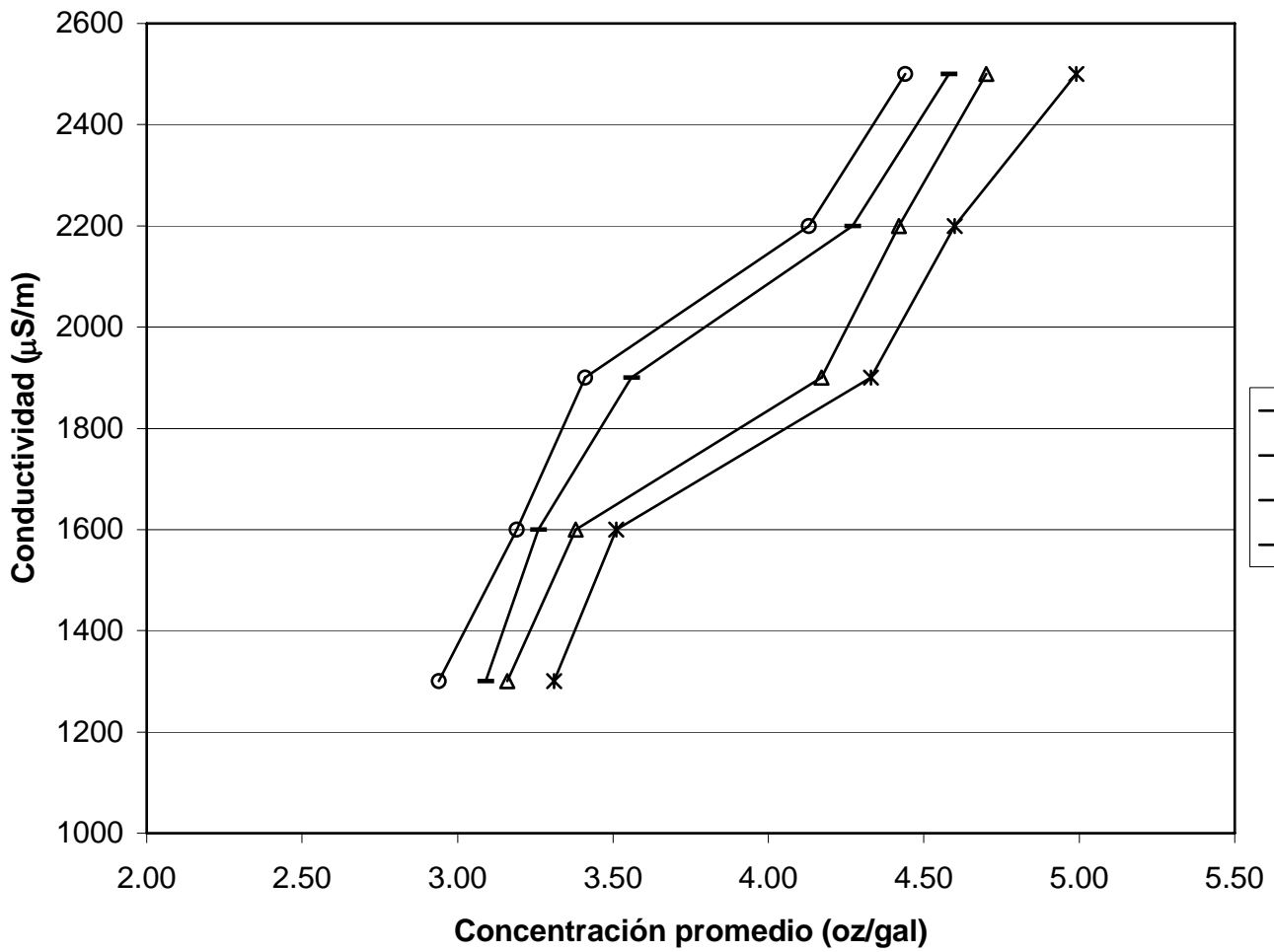


Figura 3. Concentración final de solución vrs. conductividad en máquinas planas a 4.5 de pH.

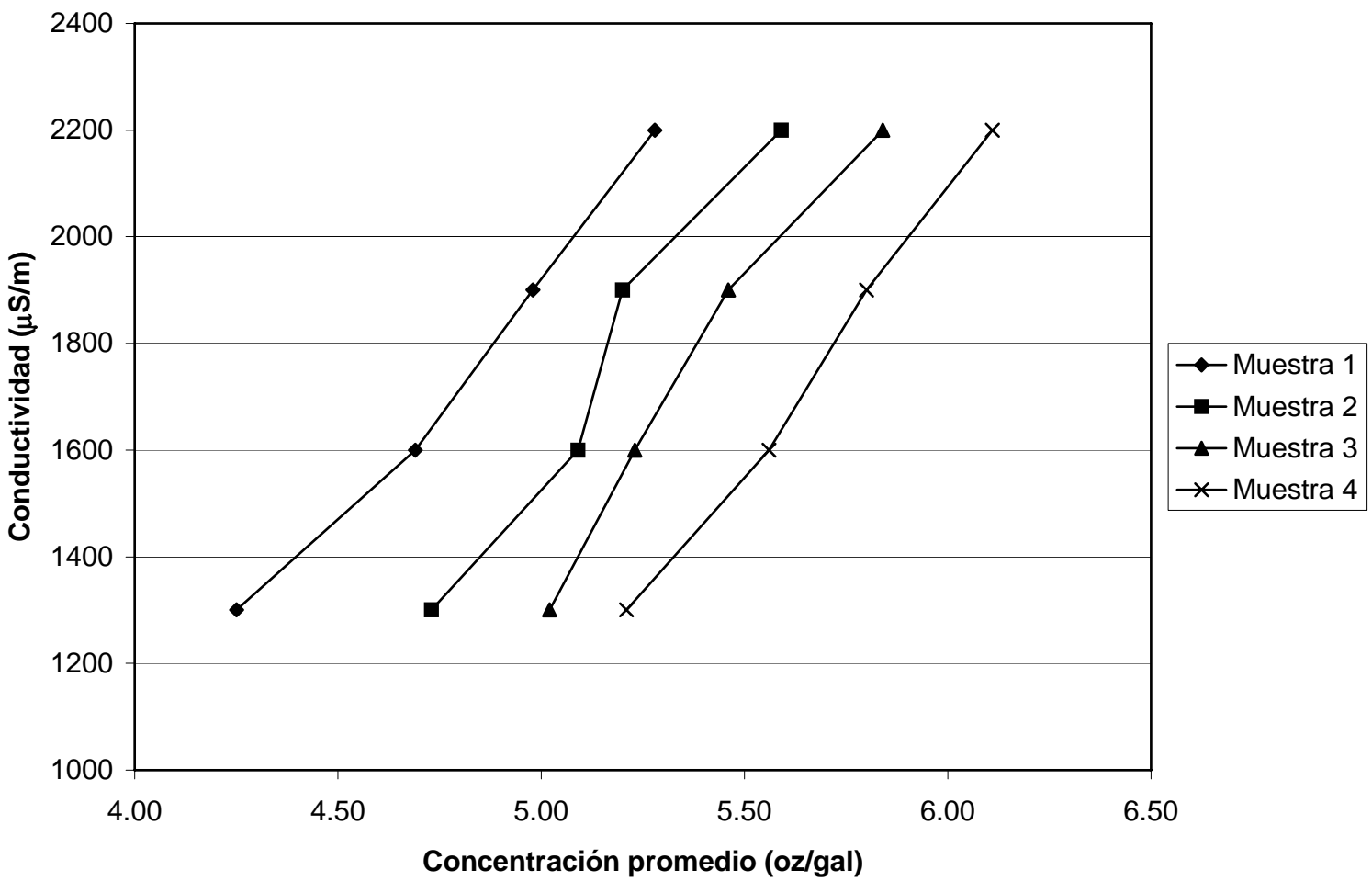


Figura 4. Conductividad eléctrica vrs. rendimiento en máquinas rotativas a 5.5 de pH.

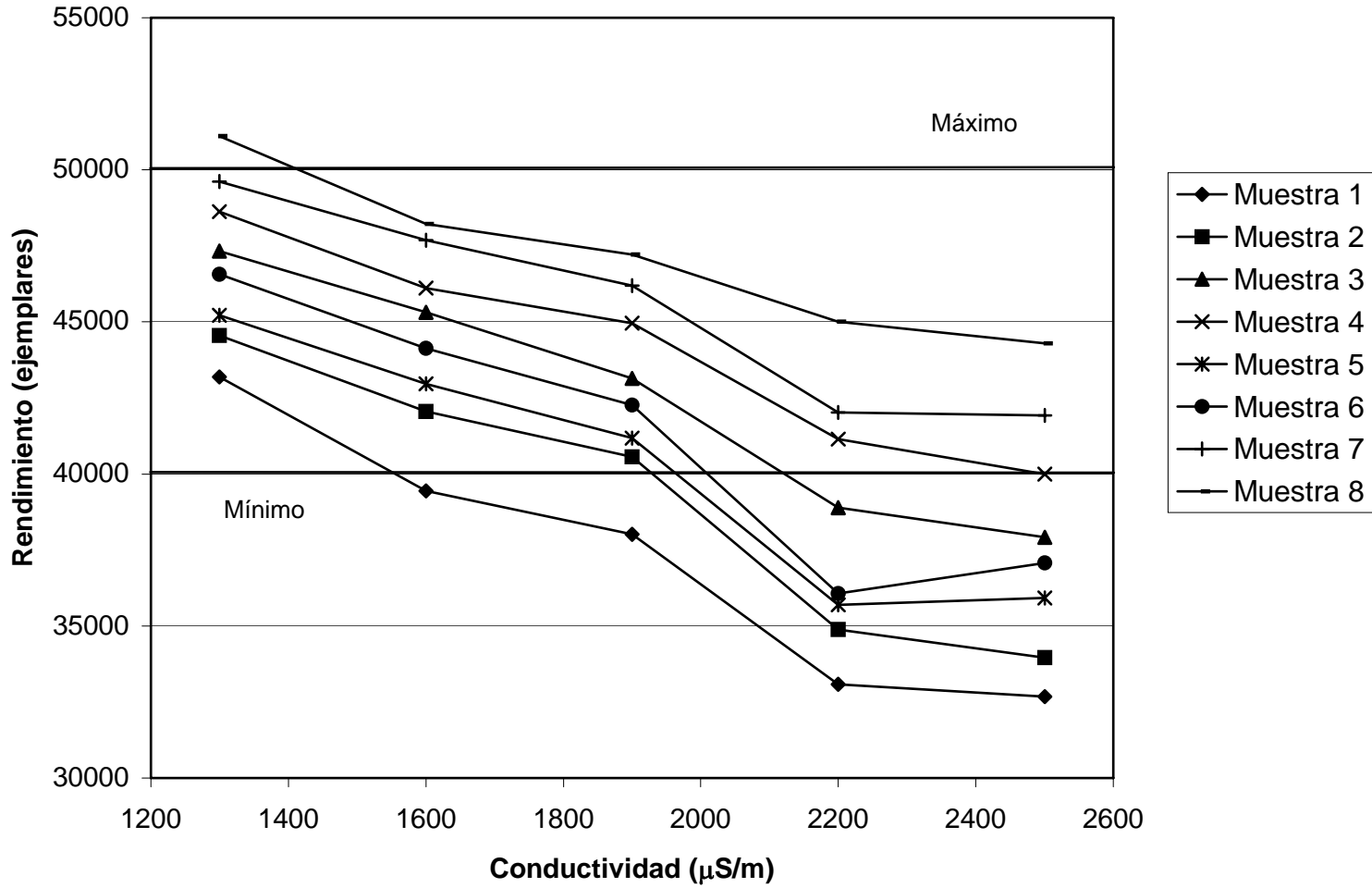


Figura 5. Conductividad eléctrica vrs. rendimiento en máquinas planas a 4.5 de pH.

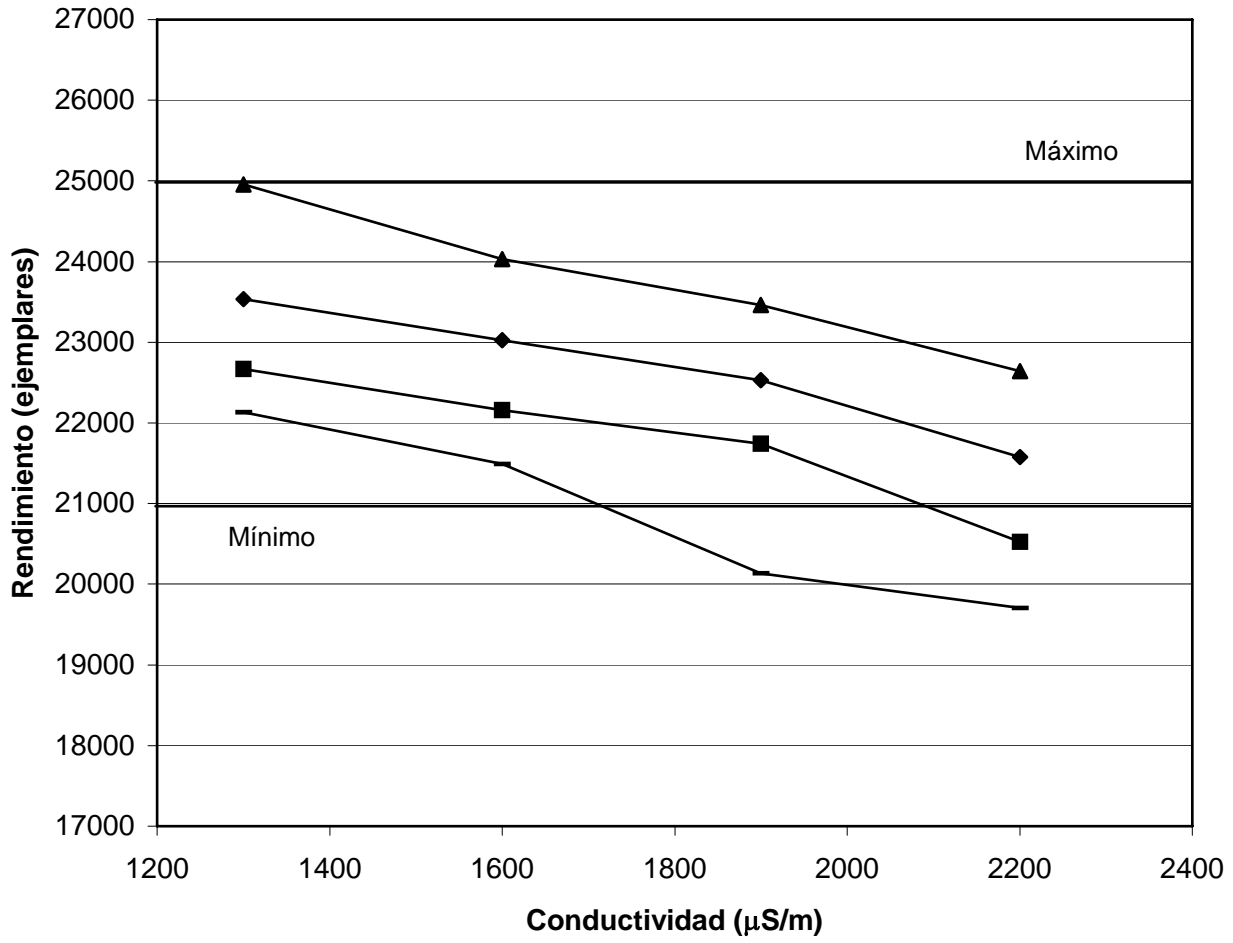


Figura 6. Conductividad eléctrica vs. nitidez e intensidad del color en máquinas rotativas a 5.5 de pH.

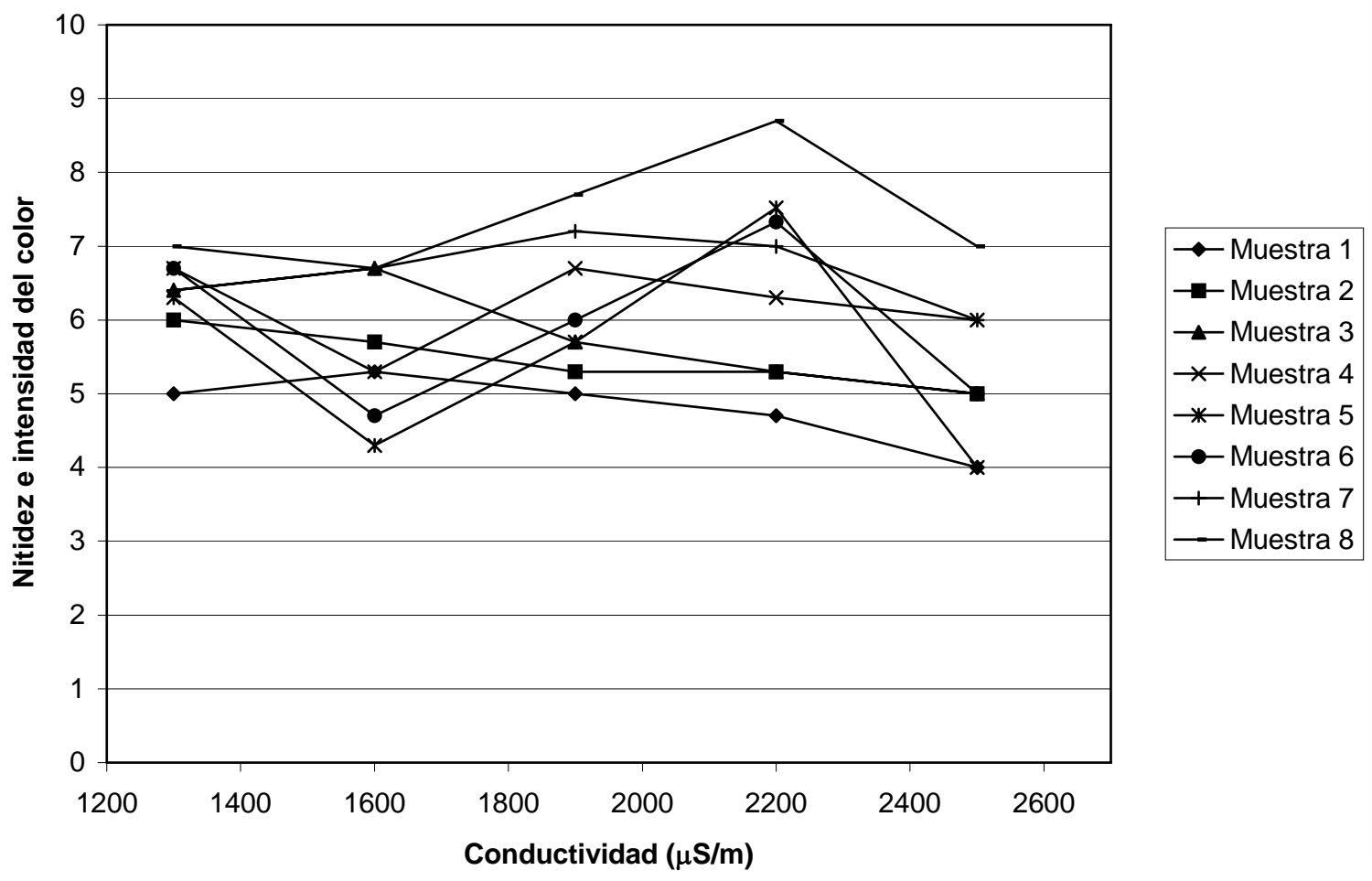


Figura 7. Conductividad eléctrica vs. Nitidez e Intensidad de color en máquinas planas a 4,5 de pH.

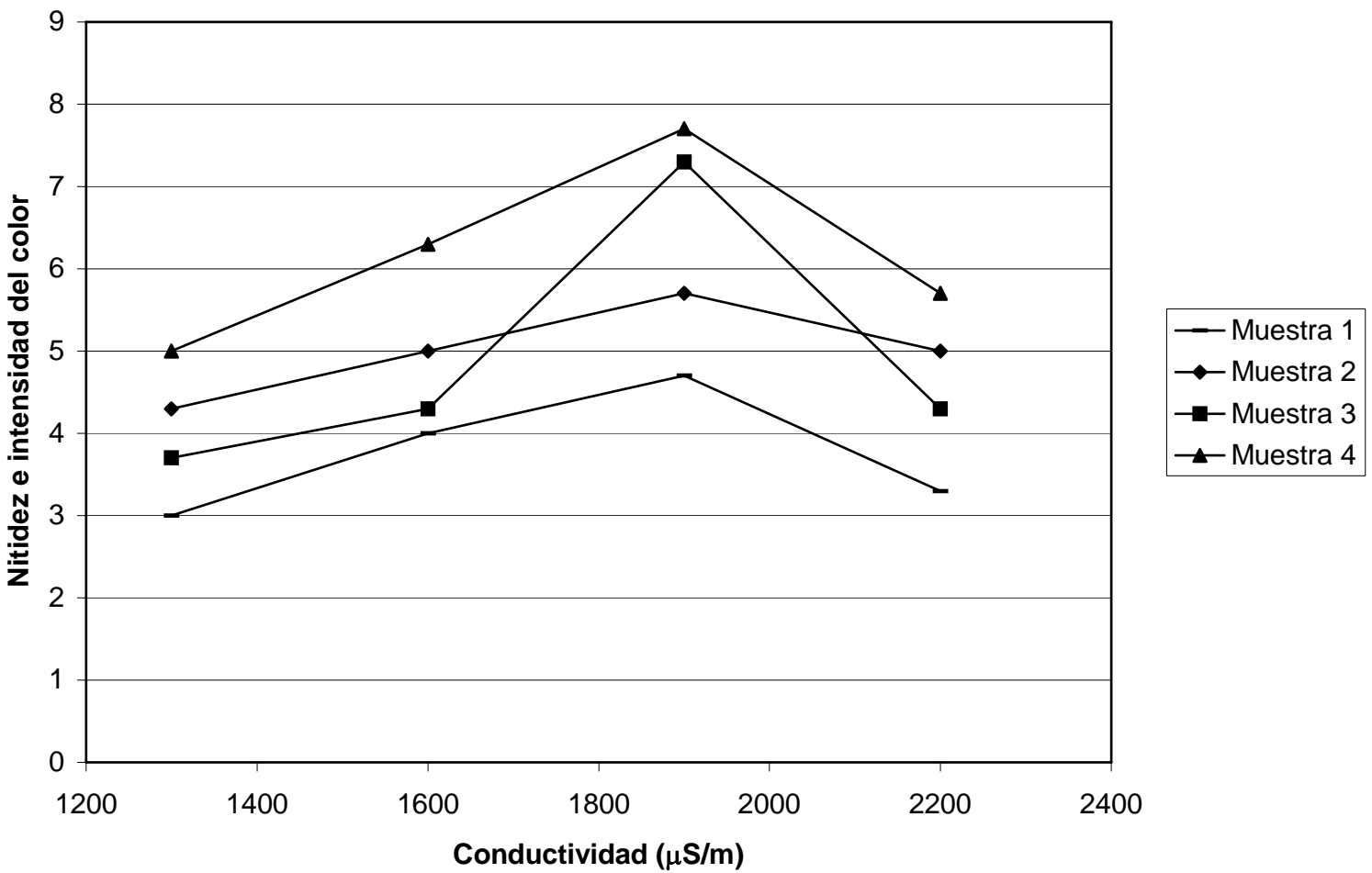


Figura 8. Conductividad eléctrica vrs. limpieza de impresión en máquinas rotativas a 5.5 de pH.

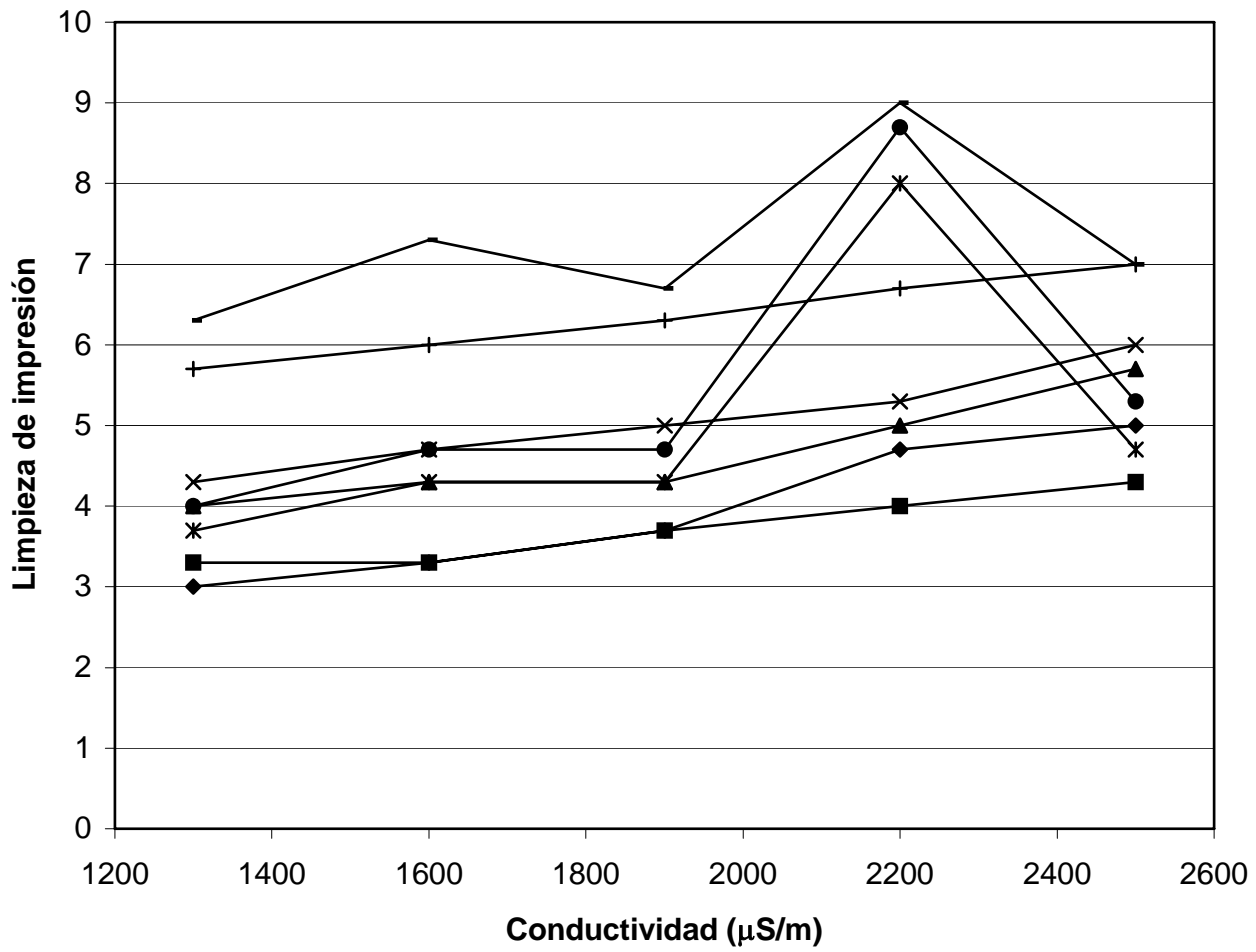
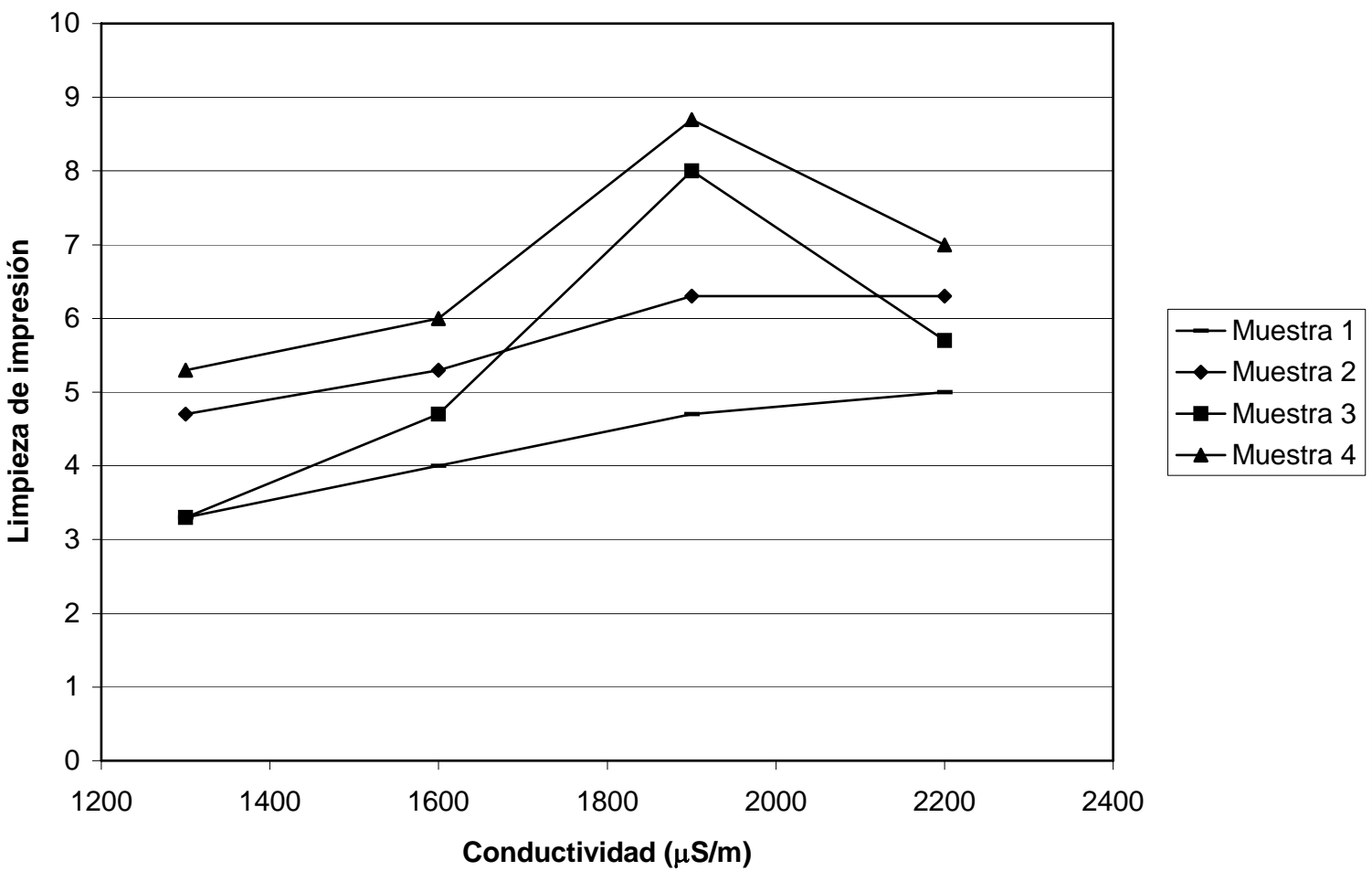


Figura 9. Conductividad eléctrica vrs. limpieza de impresión en máquinas planas a 4.5 de pH.



De los resultados tabulados anteriormente se deduce que tres soluciones (5, 6 y 8) dieron los mejores resultados durante las pruebas realizadas en máquinas rotativas y dos soluciones (3 y 4) en el caso de máquinas planas. Esto comprueba la hipótesis planteada pues se logró formular una solución de fuente con el pH, la conductividad eléctrica y los componentes adecuados, conseguidos a nivel local, que satisface los requerimientos de calidad y productividad para lograr una buena impresión, nítida, limpia y con los colores y contrastes adecuados.

En el caso de las formulaciones con goma arábica, los resultados fueron óptimos. Para máquinas rotativas se formuló una solución concentrada neutra (pH = 7), ya que el *buffer* funciona perfectamente en estas condiciones, manteniendo estable el producto para su comercialización. El pH de operación (solución preparada a un 2 o 3 %) fue de 5.5 a 6.0. En el caso de máquinas planas, el pH de la solución concentrada, para comercializarla, osciló entre 5.5 y 6.0, funcionando perfectamente a pH de 4.5 en el caso de la solución preparada para operación.

Las soluciones de fuente, además de contribuir a una buena calidad de impresión, permiten mejorar los costos, minimizando las unidades desperdiciadas, en función de una rápida y eficiente limpieza, por lo que fue importante analizar esta característica. El exceso de iones en la solución de operación produce también desgaste en la placa, afectando el costo y la calidad de impresión. Las placas se compran comercialmente diseñadas para un número máximo de cuadernillos a imprimir (una placa para la máquina rotativa para 50,000 cuadernillos cuesta US \$.2.18 y una placa para 100,000 cuadernillos cuesta US \$.4.60 y en el caso de máquinas planas, una placa para 25,000 tiros cuesta US \$20.00 y para 50,000, US \$36.00).

Además, fue necesario analizar esta característica en busca de una conductividad óptima que brinde el mayor rendimiento de las placas, evitando así problemas adicionales de mala impresión, especialmente en sólidos por desgaste de las mismas. En conclusión, se busca un equilibrio adecuado calidad-costo, tomando en cuenta todos los factores descritos anteriormente.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los cuadros de resultados, una adecuada formulación de solución de fuente produce una óptima calidad de impresión en lo que se refiere a la nitidez del color y la limpieza de la misma (ver figuras 6 a 9), ya que es capaz de producir una película uniforme y suficiente de agua sobre la superficie de la placa, permitiendo alcanzar un equilibrio preciso tinta-solución de fuente, haciendo posible una óptima reproducción de imágenes en el proceso de impresión *offset*. Una fórmula no adecuada produce el efecto contrario, afectando tanto la calidad, tan importante para competir en el mercado, como los costos, ya que además de producir altos desperdicios, ocasiona reclamos por parte de los clientes insatisfechos. Además de todos los parámetros que se han tomado en cuenta en esta investigación, el pH y la conductividad eléctrica de la solución a nivel operativo son esenciales.

El promedio de una semana de lecturas de la dureza del agua utilizada para fabricar la solución diluida fue de 218 ppm, pero la solución formulada contiene el suficiente quelante para poder controlar durezas más altas, las cuales pueden afectar el proceso de impresión produciendo exagerados y poco uniformes desgastes en las placas. La solución de fuente debe ser formulada con los componentes necesarios y suficientes, combinados en un balance preciso para producir buenos resultados. Estos son: agua, la cual puede variar en cuanto a su dureza de un lugar a otro; sales desensibilizadoras de las áreas de no imagen para obtener una buena limpieza de impresión; goma, que además de desensibilizar las áreas mencionadas, protege la placa de la oxidación, por efecto del oxígeno del aire y del manejo que de las mismas se haga; ácidos, para amortiguar y obtener un pH adecuado, que la estabilice, tanto a nivel comercial, como de operación.

Además contiene antioxidantes, para proteger las placas de la oxidación, especialmente por efectos de la luz.

Todos los resultados de las pruebas se presentan en las tablas (III a la XIX) y además se graficó la concentración de la solución final versus la conductividad eléctrica de la misma (ver figuras 1 a 3). Se hicieron pruebas con las distintas formulaciones a varias concentraciones, lo cual proporcionó 5 datos de conductividad diferentes (2500, 2200, 1900, 1600 y 1300 $\mu\text{S/m}$) en el caso de máquinas rotativas y 4 datos (2200, 1900, 1600 y 1300 $\mu\text{S/m}$) en el caso de máquinas planas, con lo cual pudo observarse el efecto de la conductividad a nivel operativo sobre las características de la impresión. Como resultado se observó que al disminuir la conductividad eléctrica se afectó notablemente la limpieza de la impresión y la nitidez e intensidad de los colores, en ambos casos (rotativa y plana). Esto es debido a que la solución se hace menos iónica, por una menor concentración de sales que disminuye su afinidad con las áreas de no imagen y permiten que la tinta, fragmentos de fibras y pelusas de papel se adhieran en dicha área.

En el otro caso, al aumentar la conductividad eléctrica y llevarla arriba de límites establecidos, mejora la limpieza de la impresión, pero afecta la nitidez e intensidad de color, debido a que la solución sobrelava las áreas de no imagen, produciendo espacios sin imprimir, lo que ocasiona una mayor necesidad de tinta y agua que produce manchado heterogéneo, debido al exceso de humedad. En ambos casos, tanto en máquinas rotativas como planas es necesario mantener un perfecto balance tinta-agua, el cual de llegar a romperse provoca un exceso de emulsificación en la tinta, produciéndose una impresión manchada, especialmente en máquinas rotativas, que trabajan a altas velocidades.

En el caso de las máquinas planas, la solución no contiene goma, pues el tiempo de secado se controla adicionando un agente volátil a la solución, a nivel operativo, que ayuda a controlar problemas de manchado. Este agente volátil afecta la tensión superficial, abortando la goma y produciendo grumos heterogéneos que no permiten una adecuada dispersión de la tinta.

Una óptima formulación produce además una rápida y eficiente limpieza, que conlleva bajos niveles de desperdicio por arranque, induciendo mejores costos (de acuerdo con la experiencia las principales causas de desperdicio se han establecido así: arranque 76 %, problemas de montaje 8 %, problemas operativos 9 %, otros 7 %). Asimismo, una adecuada conductividad produce los mejores resultados en cuanto al rendimiento de la placa. Como se anotó anteriormente, el costo de la misma es directamente proporcional a su rendimiento en cuadernillos o pliegos por tiro, mientras más baja sea la conductividad, menor desensibilización se produce y el rendimiento es mayor; mientras más alta sea la misma, se produce el efecto contrario, de acuerdo a los resultados experimentales.

Como se anotó anteriormente, las mediciones se llevaron a cabo en tres tiros distintos, en el caso de máquinas rotativas, que conformaron una edición completa (cada tiro se compone de cuadernillos de 16 páginas cada uno, a full color), por lo que los resultados se expresan por triplicado para cada muestra. En cada uno de los mismos se evalúa la nitidez e intensidad de color, la limpieza de la impresión, así como el desperdicio necesario, durante el arranque de cada uno, para llegar al primer cuadernillo óptimo, siendo muy importante el registro (perfecta coincidencia de los colores al caer uno sobre el otro) y los parámetros de entintado que son controlados por una barra de grises y son fijados de acuerdo a investigaciones de mercado que revelan el gusto de los lectores.

Los parámetros se controlan por medio de tres lecturas distintas (superior, intermedio e inferior de cada página), muestreando cada 5,000 cuadernillos, en el caso de rotativas y cada 500 pliegos en el caso de máquinas planas. Como puede observarse, los parámetros de entintado de los colores proceso se fijan por medio del sistema dosificador de tinta de las máquinas y un preciso balance tinta-agua, para que caigan y se mantengan dentro del rango establecido (véase tablas de resultados).

En el caso de los colores sólidos, los parámetros oscilan entre 1 y 1.10, siendo muy importante el control de los grifos de tinta, ya que por un lado el aumento de los parámetros incrementa el consumo de la misma en forma logarítmica, afectando los costos y por otro lado, aumentando el riesgo de repinte o manchado de impresión por un lento secado, imposibilitando el manipuleo del material impreso.

En la impresión litográfica comercial o máquina plana, es más fácil controlar el proceso, ya que la velocidad es mucho menor que en una máquina rotativa (las pruebas se realizaron en una máquina plana de dos colores a una velocidad de 5,000 pliegos por hora y en una máquina rotativa de 8 unidades a una velocidad de 25,000 cuadernillos por hora). El desperdicio es irrelevante, ya que se cuadra el color, se registra y se fijan parámetros en papel reciclado, con el fin de bajar los costos de arranque. Asimismo, tomando en cuenta que el papel debe pasarse en dos ocasiones por los rodillos de impresión, es necesario controlar el balance tinta-agua, ya que se necesita un secado rápido y eficiente por un lado, y poca o ninguna saturación de agua, que produzca un estiramiento milimétrico de los pliegos de papel, afectando el registro de los colores del segundo tiro.

En una máquina rotativa el orden de impresión de los colores es: cian, magenta, amarillo y negro, mientras que en la máquina plana de dos colores se imprimen durante el primer tiraje los colores cian y magenta, y amarillo y negro en el segundo tiro. Las normas internacionales de la S.N.A.P. (especificaciones para impresión publicitaria sin calor), dan la secuencia correcta para obtener la mejor distribución de colores en una impresión *offset*.

Como puede verse en todas las consideraciones anotadas con anterioridad, la solución de fuente formulada correctamente es un factor imprescindible en todo proceso de impresión, que permite lograr resultados óptimos desde el punto de vista económico, así como de calidad.

Todos y cada uno de los elementos que conforman el proceso de impresión son afectados en mayor o menor grado por la solución de fuente, lo que la hace imprescindible en un proceso perfectamente administrado de impresión tanto publicitaria, comercial e informativa. Toda administración de color (serie de controles que permiten uniformizar el color en todos los pasos de producción impresa: diagramación, diseño gráfico, filmación, montaje e impresión) necesita de los químicos afines a las materias primas involucradas: película, placas, papel y tinta, de donde fácilmente se puede deducir la importancia de una solución de fuente formulada con un preciso balance en cuanto a sus características físico-químicas.

Con las formulaciones óptimas seleccionadas se calcularon los costos primos de fabricación de las soluciones de fuente (ver apéndice 2), tomando en cuenta los costos unitarios locales de las materias primas en el mercado. Esto se calculó para un tonel de 55 galones y 200 kg, obteniéndose costos primos de US\$ 5.03 a US\$ 6.01 por galón para máquinas rotativas, y de US\$ 4.82 a US\$ 5.49 por galón para máquinas planas.

Si se vendieran a US\$ 9.00 el galón, se tendría un producto muy competitivo, ya que los precios de los productos importados de venta en el mercado local oscilan entre US\$ 19.00 a US\$ 28.00 por galón, para máquinas rotativas, y entre US\$ 20.00 y US\$ 23.00 por galón para máquinas planas.

Como anotación final, la conductividad del agua utilizada para preparar la solución de fuente a nivel operativo osciló entre 310 y 328 $\mu\text{S}/\text{m}$, lo cual también debió tomarse en consideración a la hora de calcular la conductividad de operación.

CONCLUSIONES

1. Puede optimizarse la concentración de la solución de fuente en función de la conductividad eléctrica a nivel operativo.
2. La conductividad eléctrica es directamente proporcional a la concentración de solución de fuente en la fase de operación.
3. La conductividad óptima de operación para máquinas rotativas fue de 2,200 $\mu\text{S}/\text{m}$ y para máquinas planas fue de 1,900 $\mu\text{S}/\text{m}$.
4. Los mejores resultados, en función de la nitidez e intensidad de color y rendimiento, se obtuvieron con las formulaciones de solución de fuente 5, 6 y 8 para máquinas rotativas y las formulaciones 3 y 4 para máquinas planas.
5. El rendimiento de las placas, en unidades impresas por tiro, es inversamente proporcional a la conductividad de operación, debido a un excesivo desgaste de las mismas.
6. El balance tinta-solución de fuente es un factor clave para una buena impresión (nítida, limpia y con el registro e intensidad de color perfectos).
7. De acuerdo con las materias primas utilizadas, en las concentraciones probadas el pH adecuado para las dos soluciones de fuente concentradas es 7.0 y a nivel operativo la solución debe estar de 5.5 a 6.0, para máquinas rotativas, y de 4.5 a 5.0 para máquinas planas.

8. Las soluciones preparadas con carboximetil celulosa grado 1,000 sí pueden sustituir adecuadamente a las soluciones preparadas con goma arábica a un valor de conductividad de trabajo de 2,200 $\mu\text{S}/\text{m}$ en máquinas rotativas.
9. Comparado con productos extranjeros la solución de fuente fabricada en Guatemala es más rentable, ya que fácilmente puede venderse con un margen razonable a US\$ 9.00 por galón, versus US\$ 19.00 por galón a US\$ 28.00 por galón que costaría importar soluciones de otras marcas, para máquinas rotativas (ver apéndice 2).
10. Para máquinas planas el galón de producto fabricado en Guatemala puede venderse con un margen razonable a US\$ 10 por galón versus US\$ 20.00 por galón a US\$ 23.00 por galón que costarían las soluciones importadas existentes en el mercado (ver apéndice 2).
11. A pesar de utilizar materias primas importadas, las soluciones de fuente fabricadas en Guatemala pueden ser ofrecidas al mercado como mínimo a un 50% del valor de las importadas.

RECOMENDACIONES

1. Tener un control estricto del agua utilizada para la preparación de la solución de fuente, ya que arriba de 700 $\mu\text{S}/\text{m}$ pueden producirse problemas de desgaste en las placas, que induzcan variaciones en la calidad (afectando especialmente los colores sólidos). De ser ese el caso, será imperativo utilizar un intercambiador iónico para ablandar el agua.
2. La solución de fuente debe tratarse con cuidado una vez preparada, ya que es susceptible de oxidación por efecto de la luz o el oxígeno del aire, afectando su eficiencia. Deberá mantenerse en un tanque cerrado, con agitación y temperatura constante (25°C), así como transportarla por medio de una bomba centrífuga y un sistema cerrado de mangueras hasta llegar a las charolas que la contienen y cuyo volumen se controla por medio de micro-flotes.
3. Debe mantenerse un total y estricto control de la conductividad de la solución de fuente a lo largo de cada tiro, para evitar variaciones de cualquier tipo.
4. Todas las materias primas (papel, placas, película, reveladores, tinta y solución de fuente) deben ser objeto de controles estrictos para asegurar tanto una calidad constante como una perfecta afinidad entre las mismas. El proceso de control de calidad debe estar totalmente definido.

5. Las máquinas, tanto planas como rotativas, son instrumentos de alta precisión, por lo que es necesario un constante mantenimiento preventivo. La limpieza y lubricación de todas las partes de las mismas, y en especial de aquellas que están en contacto directo con las placas, la tinta y el agua y el papel, merecen especial atención.

REFERENCIAS

- 1
Gilbert H. Ayres. **Análisis Químico Cuantitativo**. (2ª Edición; México: Editorial Harla S.A. de C.V. 1970) p. 126, 366.

- 2
Salvador Badui Dergal **Química de los Alimentos**. (México: Editorial Alhambra Mexicana, S.A., 1981) p. 196.

- 3
Robert H. Perry y Don W. Green **Manual del Ingeniero Químico**. (6ª Edición, Tomo II; México: Editorial McGraw-Hill/Interamericana, 1992) p. 24-51.

- 4
Roy L. Whistler **Industrial Gums: Polysaccharides and their derivatives**. (2ª ed. *United States of America: Academic Press Inc.*, 1973) p. 213.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adams II, Richard M. y Joshua B. Weisberg ***The G.A.T.F. practical guide to color management.*** Estados Unidos de América: *Graphic Arts Technical Foundation Press.* 1998. 240 pp.
2. Asociación técnica de diarios latinoamericanos **Especificaciones para impresión publicitaria sin calor.** Revista S.N.A.P.: 24 pp.
3. Elred, Nelson R. ***Chemistry for the Graphic Arts.*** 2ª ed. Estados Unidos de América: *Graphic Arts Technical Foundation Press.* 1992. 384 pp.
4. Enciclopedia Microsoft ® Encarta ® 2000. Microsoft Corporation.
5. G.A.T.F. Staff ***Solving Web Offset Press Problems.*** 5ª ed. Estados Unidos de América: *Graphic Arts Technical Foundation Press,* 1997. 184 pp.
6. **Manual de operación de rotativas.** *Goss Community,* 1990.
7. Wingrove, Alan S. y Robert L. Caret **Química Orgánica.** México: *Oxford University Press, S.A. de C.V.* 1999. 1599 pp.

APÉNDICES

ANÁLISIS DE ERROR

Los datos mostrados en las tablas de resultados se tomaron en triplicado para contar con suficientes valores para determinar el grado de desviación involucrada. En esta sección de la investigación se presenta la desviación estándar de las mediciones cuantitativas susceptibles a un análisis estadístico (rendimiento de la placa y concentración de la solución final).

Tabla XX. Desviación estándar para los datos de rendimiento de placa en máquinas rotativas para cada conductividad trabajada.

Muestra	2,500 $\mu\text{S/m}$	2,200 $\mu\text{S/m}$	1,900 $\mu\text{S/m}$	1,600 $\mu\text{S/m}$	1,300 $\mu\text{S/m}$
1	32,673 \pm 75	33,076 \pm 77	38,022 \pm 97	39,442 \pm 117	43,196 \pm 358
2	33,965 \pm 65	34,663 \pm 434	40,561 \pm 68	41,896 \pm 338	44,553 \pm 245
3	37,923 \pm 93	38,895 \pm 171	43,138 \pm 132	45,314 \pm 196	47,269 \pm 242
4	39,827 \pm 199	41,028 \pm 748	44,963 \pm 82	46,106 \pm 194	48,629 \pm 113
5	35,921 \pm 141	35,369 \pm 571	41,184 \pm 166	43,088 \pm 410	45,221 \pm 103
6	37,079 \pm 133	36,068 \pm 127	42,266 \pm 249	44,124 \pm 224	46,564 \pm 139
7	41,925 \pm 151	42,159 \pm 818	46,192 \pm 182	47,684 \pm 298	49,620 \pm 54
8	44,298 \pm 353	45,011 \pm 164	47,206 \pm 364	48,213 \pm 127	51,099 \pm 129

Tabla XXI. Desviación estándar para los datos de rendimiento de placa en máquinas planas para cada conductividad trabajada.

Muestra	2,200 $\mu\text{S/m}$	1,900 $\mu\text{S/m}$	1,600 $\mu\text{S/m}$	1,300 $\mu\text{S/m}$
1	19,703 \pm 148	20,133 \pm 69	21,494 \pm 64	21,134 \pm 52
2	21,580 \pm 243	22,529 \pm 55	23,023 \pm 38	23,532 \pm 133
3	20,527 \pm 123	21,742 \pm 144	22,160 \pm 58	22,538 \pm 391
4	22,640 \pm 94	23,462 \pm 70	24,030 \pm 100	24,955 \pm 187

Tabla XXII. Desviación estándar para los datos de concentración de solución final en onzas por galón en máquinas rotativas para todas las conductividades.

Muestra	2,500 $\mu\text{S/m}$	2,200 $\mu\text{S/m}$	1,900 $\mu\text{S/m}$	1,600 $\mu\text{S/m}$	1,300 $\mu\text{S/m}$
1	3.44 \pm 0.093	2.83 \pm 0.072	2.41 \pm 0.038	2.12 \pm 0.061	1.96 \pm 0.067
2	3.56 \pm 0.046	3.25 \pm 0.072	2.89 \pm 0.190	2.65 \pm 0.078	2.35 \pm 0.060
3	3.84 \pm 0.175	3.73 \pm 0.137	3.11 \pm 0.036	2.97 \pm 0.072	2.71 \pm 0.015
4	4.38 \pm 0.142	4.05 \pm 0.067	3.36 \pm 0.046	3.10 \pm 0.010	2.89 \pm 0.020
5	4.44 \pm 0.118	4.13 \pm 0.255	3.41 \pm 0.040	3.19 \pm 0.026	2.94 \pm 0.121
6	4.58 \pm 0.025	4.27 \pm 0.044	3.56 \pm 0.105	3.26 \pm 0.025	3.09 \pm 0.021
7	4.70 \pm 0.067	4.42 \pm 0.095	4.17 \pm 0.040	3.38 \pm 0.030	3.16 \pm 0.044
8	4.99 \pm 0.036	4.60 \pm 0.061	4.33 \pm 0.040	3.51 \pm 0.030	3.31 \pm 0.096

Tabla XXIII. Desviación estándar para los datos de concentración final de solución en máquinas planas para todas las conductividades.

Muestra	2,200 $\mu\text{S/m}$	1,900 $\mu\text{S/m}$	1,600 $\mu\text{S/m}$	1,300 $\mu\text{S/m}$
1	5.28 \pm 0.056	4.98 \pm 0.030	4.69 \pm 0.035	4.25 \pm 0.053
2	5.59 \pm 0.087	5.20 \pm 0.056	5.09 \pm 0.015	4.73 \pm 0.078
3	5.84 \pm 0.114	5.46 \pm 0.091	5.23 \pm 0.075	5.02 \pm 0.040
4	6.11 \pm 0.035	5.80 \pm 0.061	5.56 \pm 0.065	5.21 \pm 0.025

ANÁLISIS DE COSTOS PRIMOS

El siguiente análisis se hizo con base en los costos unitarios cotizados en las comercializadoras locales de productos químicos para 200 kg de solución.

a. Solución para máquinas rotativas

Tabla XXIV. Costo de fabricación de la formulación 5 para 55 galones.

Componente	Peso requerido (kg)	Precio (Q./kg)	Costo total (Q.)
Ortofosfato trisódico 10 %	20.0	23.90	478.00
Ácido ortofosfórico 3 %	6.0	20.61	123.66
Ácido clorhídrico 2.8 %	5.6	4.76	26.66
Laurilsulfato de sodio 3 %	6.0	29.00	174.00
BHA 0.1 %	0.2	170.00	34.00
BHT 0.1 %	0.2	290.00	58.00
EDTA (disódico) 5 %	10.0	49.00	490.00
CMC grado 1000 1 %	2.0	48.00	96.00
Agua, c.s.p. 100 %	150.0	0.50	75.00

Subtotal de costos de materia prima directa	Q. 1,555.32
Gastos de fábrica y mano de obra (30 %)	Q. 466.60
Envase plástico	<u>Q. 190.00</u>
Costo total estimado por tonel	Q. 2,211.92

Tabla XXV. Costo de fabricación de la formulación 6 para 55 galones.

Componente	Peso requerido (kg)	Precio (Q./kg)	Costo total (Q.)
Ortofosfato trisódico 10 %	20.0	23.90	478.00
Ácido ortofosfórico 3 %	6.0	20.61	123.66
Ácido clorhídrico 2.8 %	5.6	4.76	26.66
Laurilsulfato de sodio 3 %	6.0	29.00	174.00
BHA 0.1 %	0.2	170.00	34.00
BHT 0.1 %	0.2	290.00	58.00
EDTA (disódico) 5 %	10.0	49.00	490.00
Goma arábiga 1 %	2.0	99.00	198.00
Agua, c.s.p. 100 %	150.0	0.50	75.00

Subtotal de costos de materia prima directa	Q. 1,657.32
Gastos de fábrica y mano de obra (30 %)	Q. 497.20
Envase plástico	<u>Q. 190.00</u>
Costo total estimado por tonel	Q. 2,344.52

Tabla XXVI. Costo de fabricación de la formulación 8 para 55 galones.

Componente	Peso requerido (kg)	Precio (Q./kg)	Costo total (Q.)
Ortofosfato trisódico 10 %	20.0	23.90	478.00
Ácido ortofosfórico 3 %	6.0	20.61	123.66
Ácido clorhídrico 2.8 %	5.6	4.76	26.66
Laurilsulfato de sodio 3 %	6.0	29.00	174.00
BHA 0.35 %	0.7	170.00	119.00
BHT 0.35 %	0.7	290.00	203.00
EDTA (disódico) 5 %	10.0	49.00	490.00
Goma arábiga 1 %	2.0	48.00	198.00
Agua, c.s.p. 100 %	150.0	0.50	75.00

Subtotal de costos de materia prima directa	Q. 1,887.32
Gastos de fábrica y mano de obra (30 %)	Q. 566.20
Envase plástico	Q. 190.00
Costo total estimado por tonel	Q. 2,643.52

b. Solución para máquinas planas

Tabla XXVII. Costo de fabricación de la formulación 3 para 55 galones.

Componente	Peso requerido (kg)	Precio (Q./kg)	Costo total (Q.)
Ortofosfato trisódico 10 %	20.0	23.90	478.00
Ácido ortofosfórico 3.5 %	7.0	20.61	144.27
Ácido clorhídrico 3.0 %	6.0	4.76	28.56
Laurilsulfato de sodio 3 %	6.0	29.00	174.00
BHA 0.1 %	0.2	170.00	34.00
BHT 0.1 %	0.2	290.00	58.00
EDTA (disódico) 5 %	10.0	49.00	490.00
Agua, c.s.p. 100 %	152.0	0.50	76.00

Subtotal de costos de materia prima directa	Q. 1,482.83
Gastos de fábrica y mano de obra (30 %)	Q. 444.85
Envase plástico	Q. 190.00
Costo total estimado por tonel	Q. 2,117.68

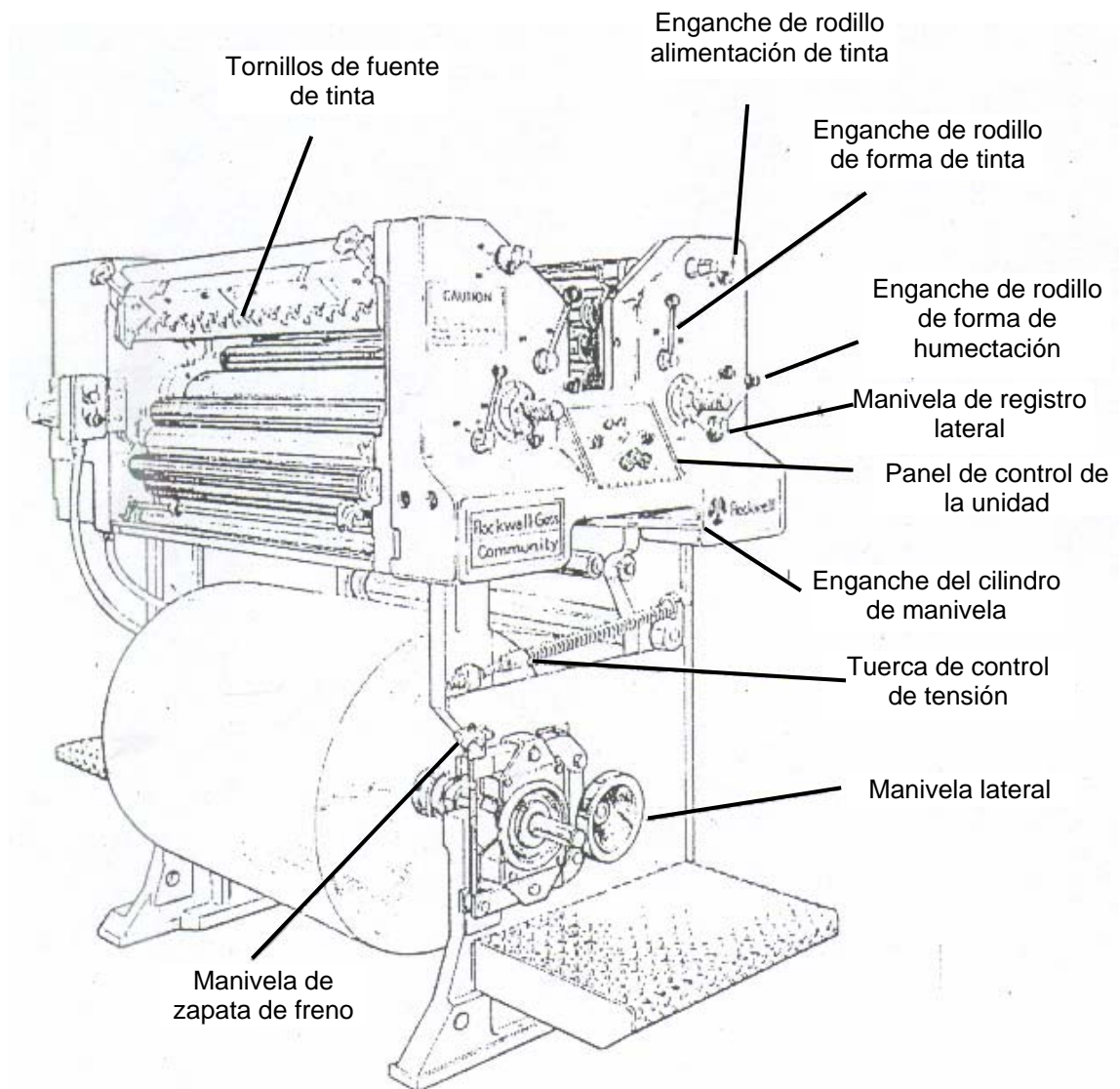
Tabla XXVIII. Costo de fabricación de la formulación 4 para 55 galones.

Componente	Peso requerido (kg)	Precio (Q./kg)	Costo total (Q.)
Ortofosfato trisódico 10 %	20.0	23.90	478.00
Ácido ortofosfórico 3.5 %	7.0	20.61	144.27
Ácido clorhídrico 3.0 %	6.0	4.76	28.56
Laurilsulfato de sodio 3 %	6.0	29.00	174.00
BHA 0.35 %	0.7	170.00	119.00
BHT 0.35 %	0.7	290.00	203.00
EDTA (disódico) 5 %	10.0	49.00	490.00
Agua, c.s.p. 100 %	151.0	0.50	75.50

Subtotal de costos de materia prima directa	Q. 1,712.33
Gastos de fábrica y mano de obra (30 %)	Q. 513.70
Envase plástico	Q. 190.00
Costo total estimado por tonel	Q. 2,416.03

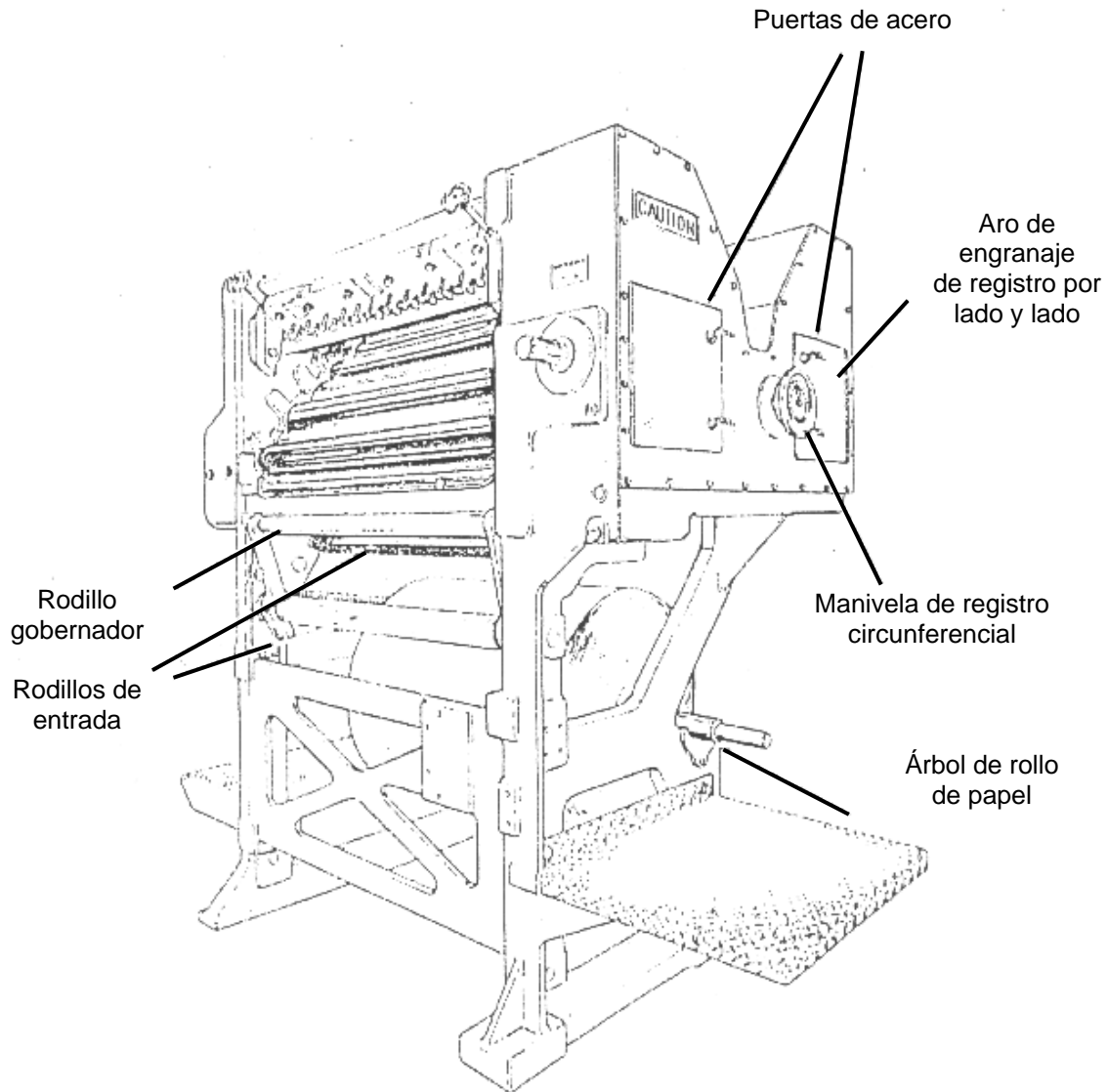
ANÉXOS

Figura 10. Unidad de máquina rotativa y sus partes (lado de operación).



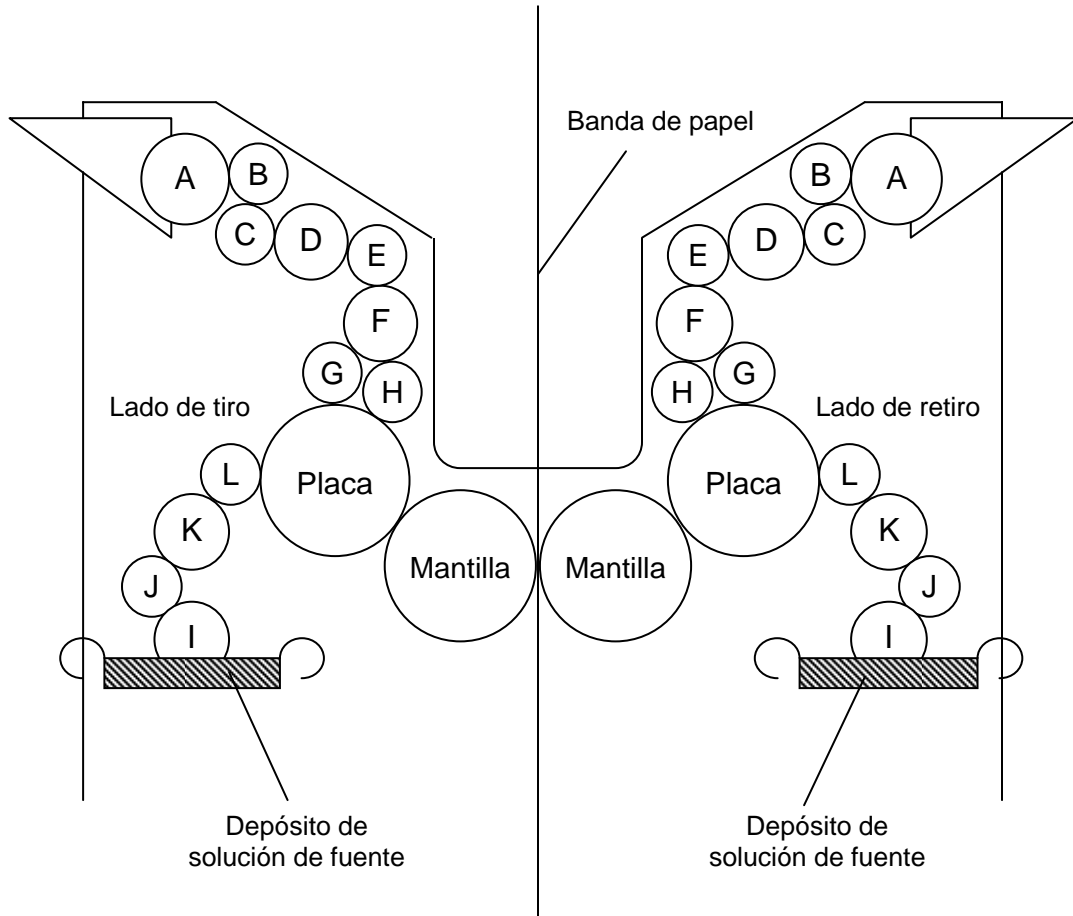
Fuente: *Goss Community*. **Manual de operación de rotativa**, Pág.30

Figura 11. Unidad de máquina rotativa y sus partes (lado de transmisión).



Fuente: *Goss Community. Manual de operación de rotativa*, Pág.31

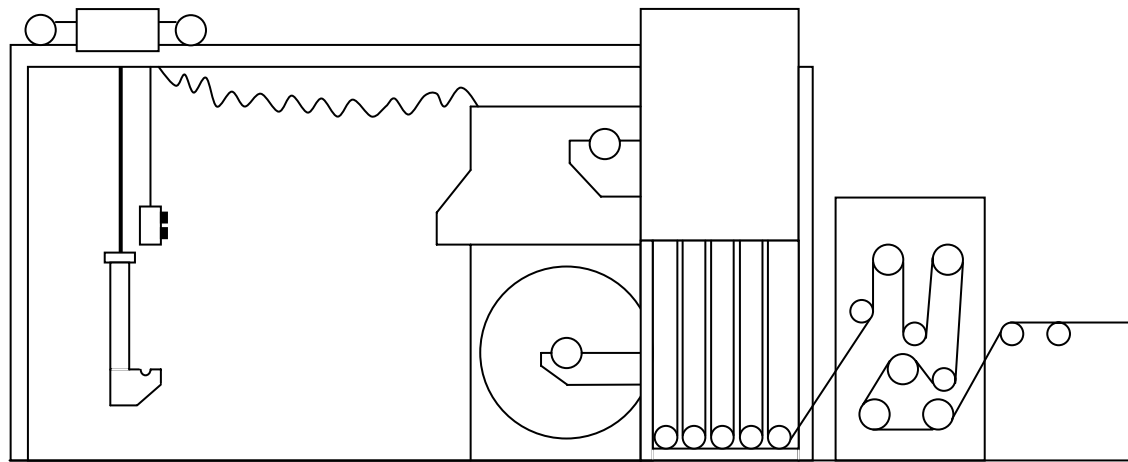
Figura 12. Arreglo de rodillos y mantillas en una máquina rotativa.



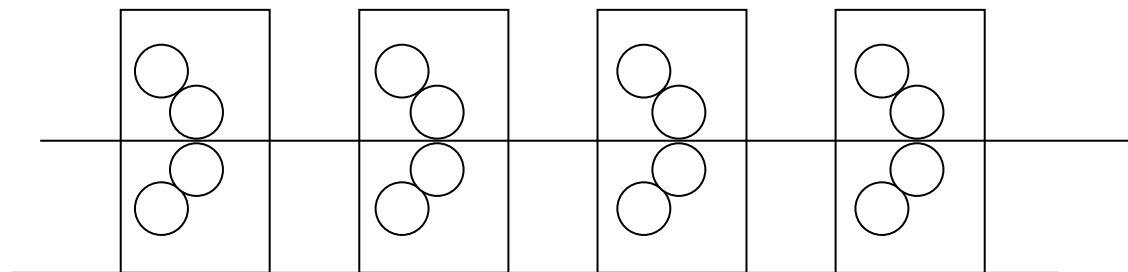
NOMENCLATURA DE LOS RODILLOS			
A	Fuente de tinta	G	Forma de tinta
B	Alimentación de tinta	H	Forma de tinta
C	Transferencia de tinta	I	Fuente de humectador
D	Tambor vibrado	J	Alimentación de humectador
E	Transferencia de tinta	K	Tambor vibrado
F	Tambor vibrado	L	Forma de humectador

Fuente: *Goss Community. Manual de operación de rotativa, Pág.39*

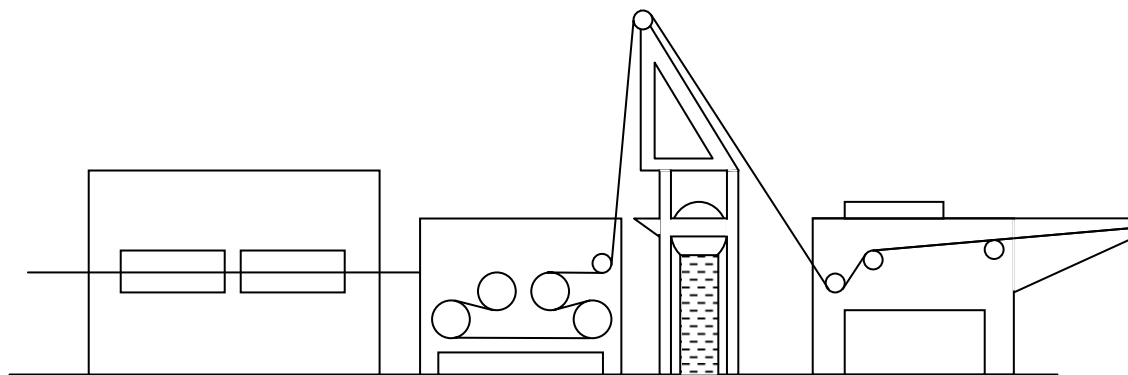
Figura 13. Proceso de impresión *offset* en máquinas rotativas.



Carga de alimentación de papel embobinado



Unidades de impresión



Secador

Rodillos
enfriadores

Dobladora
y cortadora

Compaginador

Fuente: G.A.T.F. Staff *Solving web offset press problems*, Pág.2