



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA LITOGRAFICA  
PRESTO IMPRES, C.A.**

Autores:

**GONZÁLEZ, Wilnokarys, C.I.: 19920734.**

**LEÓN, Daniel, C.I.: 18780203.**

Tutor Académico:

Prof. Jon Aguinaco

Tutor Industrial:

MSc. José Luciano

Bárbula, Julio de 2012.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA LITOGRÁFICA  
PRESTO IMPRES, C.A.**

*Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para  
optar al título de Ingeniero Químico*

Autores:

**GONZÁLEZ, Wilnokarys, C.I.: 19920734.**

**LEÓN, Daniel, C.I.: 18780203.**

Tutor Académico:

Prof. Jon Aguinaco

Tutor Industrial:

MSc. José Luciano

Bárbula, Julio de 2012.

## RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo principal, proponer alternativas de mejora a la línea de producción de la empresa Presto Impres C.A., en busca de aumentar el rendimiento del proceso. El estudio involucró la recopilación directa de datos en el proceso, entre los que destacan, la temperatura y humedad relativa del área de almacenamiento de papel, la cantidad de hojas pérdidas durante la impresión de un diseño variado, aplicando técnicas de lluvias de ideas y entrevistas informales con los operarios y expertos en el tema.

Para cumplir con los objetivos trazados fue necesario diagnosticar las condiciones actuales del proceso, para identificar los puntos críticos de pérdida de material; identificar las causas y sub-causas de dicha pérdida para establecer las más incidentes en el proceso. Luego, se estructuró un diseño experimental de tipo factorial, para tratar tales factores y determinar su influencia en el rendimiento del proceso. Una vez culminado el experimento, se usó el software MINITAB, para su respectiva valoración estadística. A partir de tales resultados se procedió a proponer alternativas para la mejora del proceso, finalizándose con la evaluación del beneficio asociado a la propuesta planteada.

Entre los resultados más resaltantes se puede mencionar que los errores de impresión son el principal causal de pérdida de material. El diseño más adecuado fue un factorial  $2^3$  y el tipo de patrón empleado es el efecto principal más influyente en la variable de respuesta. El análisis de varianza se verificó entre otros, mediante el supuesto de la distribución normal de los residuos.

Entre las alternativas planteadas resalta el desarrollo de un sistema de control de calidad, y la certificación mediante la norma para las artes gráficas, sección offset ISO-12647-2. Se recomienda dotar de un cuenta hilos a cada operario e incentivar el interés en los estudiantes por el amplio campo de las artes gráficas, no solo la litografía offset (plancha plana).

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Formulación del problema.....	5
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Limitaciones.....	7
<b>Capítulo 2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Marco teórico.....	13
2.2.1 Generalidades de la litografía.....	13
2.2.2 Generalidades del contraste de hipótesis.....	21
2.2.3 Generalidades del diseño de experimento.....	23
<b>Capítulo 3. METODOLOGÍA</b> .....	34
3.1 Tipo de investigación.....	34
3.2 Fases metodológicas de la investigación.....	35
3.2.1 Diagnostico de la línea de producción.....	35
3.2.2 Análisis y selección de los factores que influyen en el proceso.....	36
3.2.3 Estructuración de un diseño experimental para el estudio del comportamiento de los factores más influyentes del proceso.....	38
3.2.4 Selección de los factores de control y los niveles por factor de las variables más influyentes del proceso.....	39
3.2.5 Análisis del comportamiento de los factores.....	40
3.2.6 Planteamiento de las alternativas.....	47
3.2.7 Estimación del beneficio asociado a la propuesta.....	48
<b>Capítulo 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	49
<b>CONCLUSIONES</b> .....	82
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	84
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	85
<b>APENDICE A: Cálculos típicos</b> .....	90
<b>APENDICE B: Imágenes y tablas de referencia</b> .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
<b>TABLA 2.1</b> Contrastes de hipótesis para una sola población.....	22
<b>TABLA 2.2</b> Notaciones diversas que representan un diseño factorial $2^3$	28
<b>TABLA 2.3</b> Contrastes para un factorial $2^3$ .....	29
<b>TABLA 2.4</b> Anova para el factorial $2^3$ .....	30
<b>TABLA 3.1</b> Formato para la aplicación de un diagrama de Ishikawa ponderado.....	38
<b>TABLA 4.1</b> Tipo de papeles empleados en PICA.....	53
<b>TABLA 4.2</b> Tipos de cartón y cartulina empleados en PICA.....	53
<b>TABLA 4.3</b> Tipos de patrón usados en PICA.....	54
<b>TABLA 4.4</b> Diagrama de Ishikawa ponderado de los errores de impresión.....	60
<b>TABLA 4.5</b> Factores y niveles por factor del DOE.....	66
<b>TABLA 4.6</b> Matriz del diseño experimental $2^3$ .....	64
<b>TABLA 4.7</b> Rendimientos obtenidos en cada corrida para cada tratamiento.....	67
<b>TABLA 4.8</b> Análisis de varianza del diseño de experimento.....	69
<b>TABLA A.1</b> Condiciones diarias de temperatura y humedad en taller PICA	91
<b>TABLA A.2</b> Cantidad de hojas buenas obtenidas.....	94
<b>TABLA A.3</b> Resultados del programa Minitab.....	96
<b>TABLA B.1</b> Distribución chi- cuadrado $\chi^2$ .....	106
<b>TABLA B.2</b> Valores de la distribución F de Fisher .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág
<b>FIGURA 1.1</b>	Mecanismo de impresión con plancha plana.....	4
<b>FIGURA 2.1</b>	Sistema de impresión offset.....	19
<b>FIGURA 2.2</b>	Sistema de transferencia fuente-tinta.....	20
<b>FIGURA 2.3</b>	Diagrama causa-efecto.....	24
<b>FIGURA 2.4</b>	Tipo de diseño de experimento.....	27
<b>FIGURA 3.1</b>	Termo higrómetro.....	34
<b>FIGURA 3.2</b>	Ventana Minitab para crear diseño factorial.....	41
<b>FIGURA 3.3</b>	Ventana Minitab para la definición de los factores.....	41
<b>FIGURA 3.4</b>	Ventana Minitab de diseños disponibles.....	42
<b>FIGURA 3.5</b>	Ventana Minitab para seleccionar tipo de diseño.....	42
<b>FIGURA 3.6</b>	Ventana Minitab de definición de factores.....	43
<b>FIGURA 3.7</b>	Ventana Minitab de opciones de diseño.....	43
<b>FIGURA 3.8</b>	Ventana Minitab de configuración de resultados.....	44
<b>FIGURA 3.9</b>	Ventana Minitab que muestra información del diseño.....	44
<b>FIGURA 3.10</b>	Ventana Minitab de combinación de niveles y factores.....	45
<b>FIGURA 3.11</b>	Ventana Minitab para crear graficas factorial.....	45
<b>FIGURA 3.12</b>	Ventana Minitab de selección de graficas.....	46
<b>FIGURA 3.13</b>	Ventana Minitab para configuración de grafica de efectos principales.....	46
<b>FIGURA 3.14</b>	Ventana Minitab para configuración de gráfica de efectos principales con factores seleccionados.....	47
<b>FIGURA 4.1</b>	Diagrama de bloques del proceso productivo en PICA.....	49
<b>FIGURA 4.2</b>	Diagrama causa-efecto del proceso de producción en PICA..	56
<b>FIGURA 4.3</b>	Diagrama causa-efecto simplificado para el proceso de producción en PICA.....	58
<b>FIGURA 4.4</b>	Diagrama causa-efecto de los errores de impresión.....	59
<b>FIGURA 4.5</b>	Segregación de los factores del proceso de impresión.....	65
<b>FIGURA 4.6</b>	Efectos principales de los factores.....	70
<b>FIGURA 4.7</b>	Interacción fuente- patrón.....	71

<b>FIGURA 4.8</b>	Interacción tinta- patrón.....	71
<b>FIGURA 4.9</b>	Interacción tinta- fuente.....	72
<b>FIGURA 4.10</b>	Gráfico de Daniel.....	73
<b>FIGURA 4.11</b>	Distribución normal de los errores.....	74
<b>FIGURA 4.12</b>	Aleatoriedad de los datos.....	75
<b>FIGURA 4.13</b>	Gráfico de evaluación de la homogeneidad de las varianzas...	75
<b>FIGURA 4.14</b>	Rendimientos obtenidos del experimento.....	81
<b>FIGURA B.1</b>	Impresora offset AD Bick 360.....	101
<b>FIGURA B.2</b>	Recipiente de solución fuente.....	102
<b>FIGURA B.3</b>	Patrón tipo plancha usado en el experimento.....	103
<b>FIGURA B.4</b>	Patrón tipo máster usado en el experimento.....	104
<b>FIGURA B.5</b>	Cuentahilos.....	105

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haber iluminado cada día y noche de estudio, habernos tenido siempre en el camino del bien y con mucha fortaleza.

A nuestros padres que nos han hecho ser lo que somos hoy, personas de bien y responsables, capaces de enfrentar cualquier reto con dedicación.

A todos nuestros amigos en especial a Waylon y Samuel.

A todos nuestros profesores, quienes nos vieron crecer como profesionales a lo largo de nuestra carrera, en especial a la Prof. Katuska Franceschi y el Prof. Donato Magarelli.

A Jon Aguinaco, quien junto a nosotros se embarcó en esta aventura de elaborar nuestro trabajo de grado, gracias por tu apoyo incondicional.

A José Luciano, nuestro tutor industrial, quien con sus ocurrencias e ideas de último minuto nos invitó a pensar más allá siempre.

A Presto Impres C.A, lugar de desarrollo de este trabajo y lugar donde aprendimos que el conocimiento de un Ingeniero Químico abarca campos tan interesantes como la litografía.

A todos aquellos que dieron su aporte para culminar nuestro trabajo de grado.

**Con mucha sinceridad y respeto... GRACIAS!**

Dani y Wilno



## DEDICATORIA

A mis padres sin un orden especial, ambos han sido y seguirán siendo los amores de mi vida, por ustedes existo y soy lo que soy. Para ustedes este logro de muchos que quedan.

A mi hermanita Noriuska, que cuando me veía estudiando hasta tarde me daba ánimos y me hacía la cena, que bella mi Little girl.

Mis abuelos, por estar vivos para sentirse orgullosos de este logro. Su cariño y amor incondicional no se compara con nada.

A ti abuela Pragedes, porque desde el cielo estas más que feliz de que logre uno de mis sueños.

A ti, mi tortuguito, este logro es uno más a la cuenta de los dos. Tu apoyo en todo momento no me dejó desmayar. Más de dos años montados en el mismo barco, siempre mirando el mismo horizonte.

A mi mascota Catalina, porque casi estudiaste ingeniería conmigo, te dormías igual de tarde que yo.

Wilnokarys González

**Los amo y los amaré siempre...**

## DEDICATORIA

Primeramente a Dios por darme la vida, la fuerza, la constancia y la convicción de que en la vida el éxito se logra con trabajo duro y perseverancia.

A mis padres que siempre confiaron en mí y me brindaron el apoyo incondicional, poniendo a mi disposición las herramientas necesarias para forjar una vida llena de éxito y prosperidad.

A mi hermano que me ha apoyado y acompañado a lo largo de mi vida.

A mi compañera de estudio, trabajo y sentimental que lleva más de dos años apoyándome, enseñándome, tolerándome y queriéndome cada día más igual que yo a ella.

A mis abuelos que llevo en mi corazón y que desde el cielo me guían en el largo camino de la vida y que sé, me protegerán siempre.

A mis familiares que han estado conmigo siempre y de los que diariamente aprendo algo importante para mi crecimiento personal.

Daniel León

## INTRODUCCIÓN

La industria litográfica en Venezuela cumple un papel importante en la economía, ya que se encarga de la producción de material que se usa diariamente. Actualmente la impresión indirecta con plancha u “offset” es una de las más usadas para la impresión de productos comunes como folletos, facturas, tarjetas de presentación, etc. Esto conlleva un gran consumo de materiales como tinta y papel. Este trabajo se enfoca en proponer mejoras en el proceso, buscando la disminución de la pérdida de material durante la impresión, ya que éste es el principal indicador del rendimiento del proceso.

La metodología empleada se fundamenta en la recolección de datos bajo un esquema experimental, para la evaluación de los factores más incidentes en el proceso de impresión y, a partir de los resultados obtenidos, generar alternativas de mejora para este importante proceso.

La investigación se presenta en cuatro capítulos. En el capítulo I, se plantea el problema y se establecen los objetivos que se desean alcanzar. En el capítulo II, se presentan los antecedentes de esta investigación y las bases teóricas de la misma. El capítulo III, comprende la metodología detallada a utilizar para el logro de los objetivos planteados. Seguidamente, se presenta el capítulo IV, donde se describen y se analizan los resultados obtenidos en la realización de cada objetivo planteado, como también, la descripción de las alternativas para la solución de la problemática existente. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones más importantes de acuerdo a los resultados obtenidos.

La investigación se fundamenta en la importancia de conocer la influencia de los factores más resaltantes en la impresión con plancha plana. En Presto Impres C.A. dará paso a la mejor comprensión y aumento del rendimiento de su proceso productivo, el cual se rige bajo este sistema.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

*En el desarrollo de esta sección se muestra el problema sometido a estudio. Se describe la situación actual, el objetivo general con el cual se quiere alcanzar la situación deseada; mediante el cumplimiento de los objetivos específicos. De igual manera se expone el por qué de esta investigación, su alcance y limitaciones.*

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El método de impresión con plancha plana, cuyo origen es la litografía (piedra-dibujar), fue inventada por Aloysius Senefelder en 1796. Basada en una impresión con una plancha de piedra caliza plana, sobre la que se podía dibujar o escribir textos con tinta grasa.

Se cubría de tinta toda la cara plana de la piedra, se lavaba con agua acidulada y por las cualidades de esta piedra, la tinta en la zona lavada era repelida. Sin embargo, la zona que primitivamente había correspondido a la tinta grasa, la zona del dibujo o del texto, mantenía la tinta.

La piedra litográfica se sustituyó pronto por planchas de aluminio o cinc, más manejables y resistentes. El tratamiento con un chorro de arena hacía porosas sus superficies y por la acción de ácidos se formaban sales en la superficie metálica, con iguales características que las que confería el agua acidulada a la piedra caliza. Sin embargo, el roce de la plancha con el papel descascarillaba la capa de sales, que le proporcionan las características litográficas y se velaba la plancha, por lo que se añadió un cilindro de caucho, menos abrasivo que el papel y que transmitía la impresión al papel en otro lugar.

El método de impresión con plancha plana es una técnica indirecta de impresión, en la cual la tinta no se transfiere al papel directamente desde la plancha impresora. El

cilindro porta planchas transfiere primero la imagen de impresión a un rodillo cubierto por una mantilla de caucho, que a su vez la transfiere al papel. El papel pasa entre un cilindro porta mantilla de caucho y un cilindro de impresión (ver Figura 1.1).

Entre los países más avanzados se encuentran Alemania y Estados Unidos, con una capacitación suficiente para abastecer de maquinaria a países de latino América, donde las mejores tecnologías han sido adquiridas Colombia, Ecuador y Brasil.

En Venezuela este tipo de impresión es muy usada debido a que es el principal medio de elaboración de publicidad y elementos tan comunes como un folletos; sin embargo, esta industria no es muy tomada en cuenta en el sector empresarial, por lo que carece de capacitación y de inversión en nuevas tecnologías, que puedan mejorar las condiciones de producción de la industria litográfica en el país.

Esta industria no cuenta con formación de personal capacitado en ninguna institución educativa, lo que deriva en que el conocimiento actual sea empírico o adquirido en instituciones y eventos en el exterior, por lo que esta investigación abrirá un camino para futuros estudios en el área y así ampliar el conocimiento en este campo de la industria.

Presto Impres, C.A (PICA), posee tecnología proveniente de los principales proveedores del mundo, con impresoras Heidelberg, provenientes de Alemania, que proporcionan una impresión rápida y de muy alta precisión e impresoras AB Dick, de tecnología estadounidense, que proporcionan una impresión muy rápida. PICA es una empresa familiar que lleva más de 30 años en el área de ventas, diseño gráfico y producción, tiempo en el cual ha logrado consolidarse como una empresa dedicada a la excelencia.

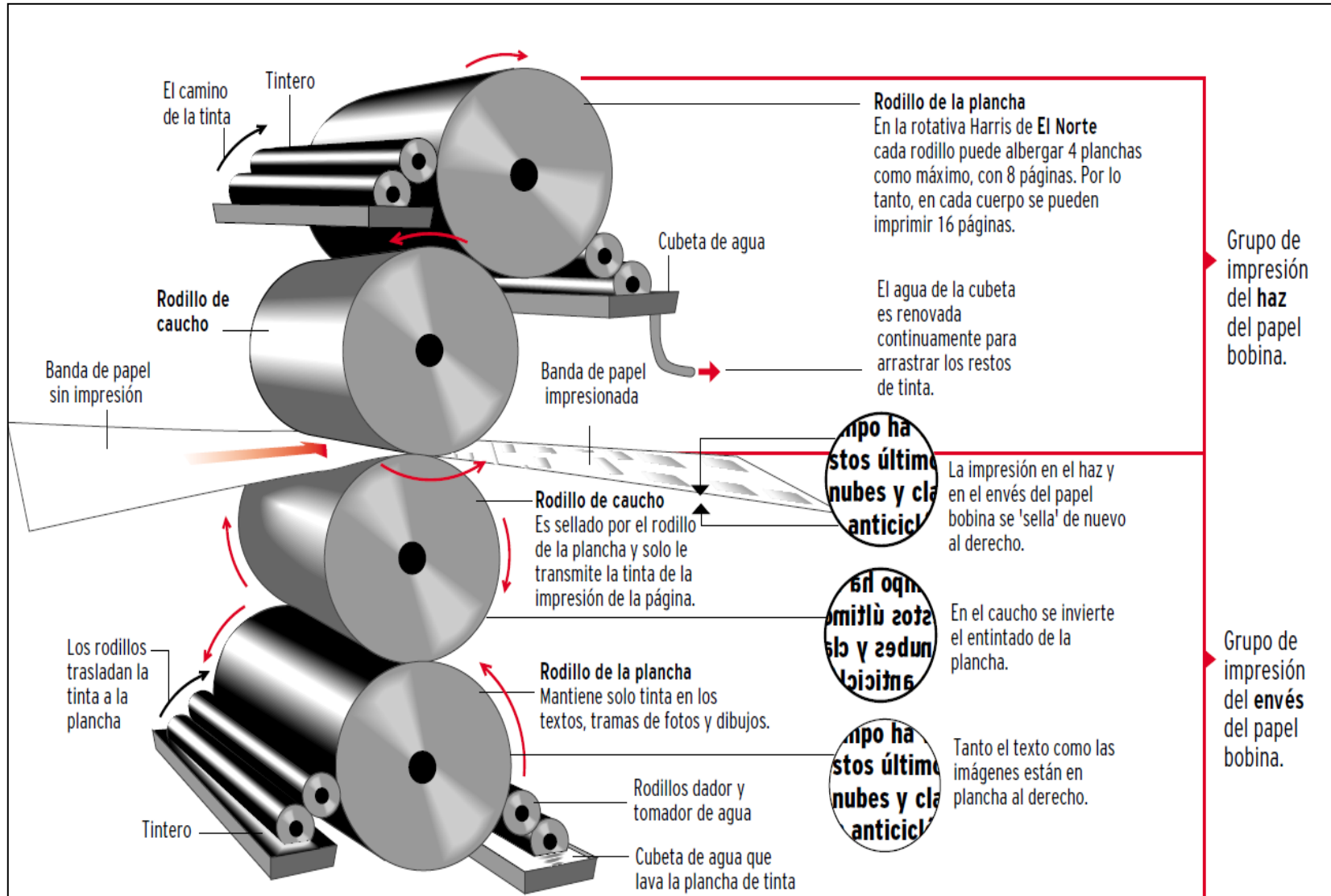


Figura 1.1 Mecanismo de impresión con plancha plana. [1]

A lo largo del proceso de impresión, se presentan diversos inconvenientes en cuanto al material e insumo utilizado, factores desde el punto de vista ambiental, como la cantidad de polvo, la ausencia en el mercado nacional de productos químicos necesarios para la impresión, la falta de capacitación y contacto con nuevas tecnologías del personal; éstos generan defectos en el producto final que pueden considerarse pérdidas. En la mayoría de las empresas a nivel local, no se cuenta con la tecnología a la altura de las circunstancias, teniendo como consecuencia que se sigan tendencias hasta cierto punto, tradicionales y artesanales, sin que hasta ahora haya sido objeto de estudio.

Como ingenieros en formación y en presencia de tal problemática, a la cual no es ajena la empresa litográfica Presto Impres, se hace necesario una revisión de la situación, en cuanto a los tipos de materiales e insumos usados en la producción, que representan variables que posiblemente influyan en el proceso como la humedad del ambiente, el tipo de tinta y el tipo de papel; para de esta manera dar soluciones a la situación planteada así como también mejorar el proceso de producción.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente en la línea de producción existen un conjunto de factores que afectan directamente el rendimiento del proceso, ya que influyen negativamente en los materiales e insumos empleados y, por ende, en el producto final. Por tal motivo, se genera la necesidad de identificar y evaluar dichos factores y la manera en la cual pueden disminuirse sus efectos, mediante la implementación de mejoras en las diferentes etapas del proceso.

### **1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL**

En la empresa litográfica PICA los materiales utilizados en el proceso de impresión no son manejados de la forma adecuada antes, durante y después del proceso, como producto terminado, lo que genera fallas que se convierten en pérdida de

material a lo largo de la línea de producción, disminuyendo el rendimiento del proceso. Existen factores que pueden modificar las condiciones de ciertas materias primas e insumos que cumplen un papel primordial en el proceso, los cuales no han sido evaluados y por ende no sometidos a ningún tipo de control.

### **1.2.2 SITUACIÓN DESEADA**

Con este trabajo se persigue generar alternativas que disminuyan las pérdidas y mejoren el proceso con el fin de promover un mejor manejo de los insumos asociados al proceso de producción de la empresa PICA.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer mejoras en la línea de producción de la empresa litográfica Presto Impres C.A. con el propósito de mejorar el rendimiento del proceso.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar el diagnóstico de la línea de producción, identificando los puntos críticos en los cuales ocurren pérdidas de material y por ende disminuyan el rendimiento.
2. Seleccionar los factores que inciden en el proceso de producción.
3. Estructurar un diseño experimental que permita conocer el comportamiento de los factores más influyentes del proceso de producción de PICA
4. Establecer los factores de control y los niveles por factor de las variables más influyentes del proceso
5. Analizar el comportamiento de los factores más influyentes del proceso y proponer alternativas de mejora en la línea de producción.
6. Evaluar el beneficio asociado a la propuesta planteada.



## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Para PICA, la implementación y desarrollo de mejoras en los procesos, controles y servicios que se manejan en el interior de la empresa contribuyen al progreso del sector económico al que pertenece, proporcionando una mejor calidad y una mayor rapidez en la obtención del producto y el fomento de una mejor competitividad frente a sus semejantes. De la misma manera, en el interior de la empresa se va a generar una mejor organización, control y manejo de los procesos que incurren en la elaboración del producto final, determinando un mejor y más eficaz desempeño de las tareas de los trabajadores y mayores utilidades para la empresa.

En la Universidad de Carabobo, este estudio aportaría información sobre un área que hasta ahora se conoce muy poco, abriendo así el camino para la profundización del conocimiento y convertir este tipo de empresas en un campo importante para el estudio de la Ingeniería Química.

Adicionalmente, el estudio les permitirá a los autores ampliar los conocimientos acerca de la industria litográfica, además del manejo de materiales en los procesos de impresión de la industria litográfica y su influencia en el producto final.

## **1.5 LIMITACIONES**

Entre las restricciones para el desarrollo adecuado de las actividades se presenta la falta de instrumentos para la medición de las variables involucradas en el diagnóstico del proceso; ni tampoco para verificar el comportamiento del rendimiento de manera precisa. También es limitante el hecho del escaso soporte bibliográfico que existe en el país y en la región por ser un tema poco abordado en tales niveles (nacional y regional).

Otro aspecto a tomar en cuenta es la no existencia de experimentos diseñados para determinar factores importantes del proceso productivo, como consecuencia de la falta de información antes mencionada, lo que dificulta un estudio metódico de las

variables influyentes en el proceso, más aún que dichas variables o factores son a veces tratados de forma poco elaborada. La ausencia conocimientos en el área y la falta de personal capacitado complican aún más el manejo del tema. Otra limitante fue el no poder ejercer control de las innumerables variables influyentes en el desarrollo del proceso, las cuales fueron fuentes de error experimental.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO REFERENCIAL**

*A continuación se presenta un resumen de las investigaciones consultadas que reflejan en cierta medida, la metodología expuesta en esta investigación y los fundamentos teóricos que ayudaron a la mejor comprensión del problema*

#### **2.1 ANTECEDENTES**

*2.1.1. “PROPUESTA DE UN MODELO DE AUDITORÍA APLICANDO ISO 9000 EN EL DEPARTAMENTO DE CALIDAD DE LA INDUSTRIA LITOGRAFICA MEDIGRAF, S.A.”.* Francys Ramirez propuso en 2008 un modelo de auditoría aplicando ISO 9000 en el Departamento de Calidad de la Industria Litográfica Medigraf, S.A, que con su puesta en práctica permitiera mejorar los procesos para ofrecer al cliente un mejor producto aplicando auditorías internas que controlen las fallas que se pueden presentar en la elaboración del producto.

El esquema está desarrollado bajo una estrategia de investigación exploratoria con diseño de campo, tomando en cuenta el instrumento de recolección de datos, el método de observación participante natural no estructurada; de esta manera, sólo se analizaron los hechos relevantes de las auditorías aplicadas por el cliente en la litografía. La semejanza más notable es que la investigación fue llevada a cabo en una industria litográfica y es una investigación exploratoria y de campo, persiguiendo mejorar la productividad; sin embargo, existe disyuntiva en cuanto a que en dicho trabajo se propone un sistema de auditorías, no una propuesta general de mejora en la línea de producción de la empresa. [2]

*2.1.2. “MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE COLADO SALADO DE UNA INDUSTRIA DE ALIMENTOS”.* Este trabajo realizado por M.C. Rios, C. Pérez, A.I. Martínez, en 2002, tiene como objetivo evaluar y mejorar el proceso de producción de colado salado en Alimentos Heinz.

Para el logro de este objetivo se procede a un diagnóstico del proceso para detectar sus fallas y carencias, y se analizan las especificaciones en lo que respecta al material de empaque e ingredientes, proceso y producto terminado mediante auditorías internas de calidad, donde se encuentran reflejados los deméritos existentes en cada etapa, lo que conlleva al rediseño y diseño en algunos casos de los formatos de inspección y supervisión de calidad.

Una vez aplicadas las diferentes auditorias, se identifican los factores más importantes que están afectando al proceso de producción y por ende la efectividad de la línea, que es calculada mediante identificadores de productividad como rendimiento, calidad y disponibilidad, corroborándose que ésta es muy baja. Por último, se propone una alternativa de solución que permite mejorar el proceso de producción del colado salado, su implementación de acuerdo a la relación costo-beneficio y su evaluación mediante identificadores de productividad.

La semejanza principal es el hecho de identificar la fallas y carencias en la línea de producción, generando alternativas para mejorarlo, y la estimación costo-beneficio de la propuesta. Se diferencia en que abarca más etapas del proceso, no se remite solamente a la línea de producción, sino que intenta incluso el análisis profundo de la calidad y especificaciones de producto.[3]

*2.1.3. “PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MEJORA 5S EN UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PANES DE MOLDE”.* El objetivo que deseaba alcanzar Cipriano Martínez, en 2010 era elaborar un plan de acción para la ejecución de la metodología de mejora 5s con la finalidad de incrementar los niveles de productividad, mejorando el ambiente de trabajo y reduciendo el desperdicio de tiempo y de energía.

En el mencionado trabajo se determinó mediante diagnóstico y evaluación rigurosa del proceso y las condiciones a las que se llevaba a cabo, cómo el almacenamiento, manejo y falta de control en cuanto a insumos utilizados afectaba de forma negativa al proceso de producción de las conservas de palmito. El estudio permitió plantear la implementación de un plan de acción denominado 5S, lográndose mejorar la

productividad y mejoramiento significativo del área de producción. La relación costo-beneficio estimada indico que la propuesta es rentable.

La similitud con este trabajo, radica en que la metodología se basa en los mismos principios de observación y diagnóstico del proceso de producción, verificación del uso correcto de los insumos y materiales. La diferencia es que se estimó la relación costo-beneficio cuando en este trabajo sólo se evaluará el beneficio asociado a la implementación de la propuesta planteada, y por supuesto la diferencia más resaltante es no tratarse de un proceso de una industria litográfica, se fundamenta en que no se evaluó un conjunto de alternativas, sino más bien se implementó una metodología organizacional específica.[4]

*2.1.4. "APLICACIÓN DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA ALMENDRA DEL FRUTO DE LA PALMA COROZO (*Acrocomia aculeata*)".* Lourdes Arvelaez en 2003 evaluó la extracción de aceite de la almendra de la palma corozo aplicando un diseño de experimento con la finalidad de establecer el mejor método de extracción.

Dicha evaluación fue llevada a cabo a partir de un diseño experimental, un estudio minucioso de las variables, determinación de las más influyentes en el proceso extractivo. Los resultados del experimento fueron validados a través de un programa estadístico apropiado. He allí la similitud con el presente trabajo, la discriminación de las diferentes variables, verificando así las más influyentes en el proceso para proceder a determinar el modelo experimental más apropiado, la selección de los niveles y factores a tomar en cuenta, y por último la evaluación y análisis de los resultados mediante un programa estadístico.

La diferencia principal radica en la finalidad de ambos trabajos. Arvelaez perseguía la propuesta de un mejor método extractivo, mientras que en esta investigación se desea, a partir de los resultados obtenidos, proponer diversas mejoras en la línea de producción de PICA. [5]

2.1.5. *“OPTIMIZACIÓN DE LA PROCESABILIDAD DE COMPUESTOS DE GOMA UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE NEUMÁTICOS APLICANDO DISEÑO DE EXPERIMENTOS (METODOLOGÍA TAGUCHI)”*. El objetivo general de Mariela Hernández en 2003 fue optimizar la procesabilidad y minimizar el nivel de desperdicio de tres compuestos de gomas utilizados en la fabricación de neumáticos, usando técnicas de diseño de experimento, específicamente la metodología Taguchi.

La similitud con este trabajo es el ataque del problema con un diseño experimental, previo estudio de un diagrama causa- efecto para cada uno de los compuestos o variables; posterior a ellos, la selección de niveles y factores óptimos de los aditivos, materias primas y métodos de mezcla para cada una de las formulaciones de los compuestos de gomas.

La diferencia radica en el enfoque hacia el área de calidad y optimización del producto final en el mencionado trabajo, y el establecer el modelo experimental a usar (Taguchi), obviándose los pasos de encontrar el modelo que se adapte mejor al proceso. Además, en este trabajo se busca proponer mejoras, no optimizar el proceso.[6]

2.1.6. *“PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CONSERVAS DE CORAZONES DE PALMITO EN UNA EMPRESA AGROINDUSTRIAL”*. Agustín Romero en 2011 se basó en aprovechar mejor los recursos existentes de mano de obra, maquinaria y equipos, materia prima y material complementario a partir de un estudio de métodos y tiempos. Se identificaron los principales cuellos de botella generados en el proceso, que se encuentran relacionados con métodos de producción anticuados. Se formularon alternativas de mejora para las diferentes operaciones del proceso en las que se identificaron pérdidas.

Se asemeja a este trabajo de grado en la identificación de los puntos críticos del proceso, aquellos en donde se evidencie el mal manejo del material y puedan darse posibles pérdidas del mismo. El querer promover además un mejor uso de los

materiales e insumos necesarios para el proceso de producción y adicionalmente la evaluación de un conjunto de alternativas para así proponer la mejor. Se diferencia en que se enfoca mucho más a la disminución del tiempo del proceso, y a elaborar un análisis económico muy profundo; en este caso, solo se hará una estimación del beneficio asociado a la implementación de la propuesta. [7]

*2.1.7. “PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN EN ALIMENTOS SAS S.A. A TRAVÉS DE LA ESTRUCTURACIÓN DE UN MODELO DE PLANEACIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN”.* Ignacio Revollo y Juan Suarez en 2009 se plantearon como objetivo principal desarrollar y proponer un sistema de planeación, programación y control de la producción para la empresa Alimentos SAS S.A. a través del seguimiento de las variables que inciden en los costos, en la calidad y en la atención oportuna de los clientes, de manera que se refleje en una disminución de los costos de producción, almacenamiento y de los tiempos de proceso. El antecedente presenta similitud con esta investigación, ya que se usaron diagramas causa-efecto y de Pareto; al igual que se realizó observación directa del proceso. Sin embargo se diferencia en el enfoque general, ya que en este antecedente se le da mayor importancia a la parte monetaria; es decir, a la venta del producto terminado, persiguiendo un aumento en la producción.[8]

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 GENERALIDADES DE LA LITOGRAFÍA**

#### **Offset**

Todo el proceso de impresión offset está basado en el principio litográfico. De hecho, existen dos métodos básicos: impresión en húmedo o con agua (wet offset) e impresión en seco o sin agua (water free offset), técnica de offset que utiliza silicón en vez de agua. [9]

## **El principio litográfico**

La impresión litográfica trabaja de forma diferente a la impresión en relieve, en la que las áreas impresoras y no impresoras de la imagen están separadas unas de otras por diferencias de relieve en su superficie. En la impresión litográfica, las áreas impresas y no impresas se diferencian por sus características químicas. En una placa litográfica, las áreas impresoras están hechas de un polímero y las no impresoras de aluminio. Las primeras son oleófilas, es decir, atraen la tinta, que es grasa, mientras que las áreas no impresoras son oleófobas o, lo que es lo mismo, rechazan la tinta. [9]

En el offset húmedo, el agua se utiliza para que la tinta no se adhiera a las áreas no impresoras de la placa. Se dice entonces que las áreas no impresoras son hidrófilas (atraen el agua) y las áreas impresoras son hidrófobas (rechazan el agua). En el offset seco (sin agua), en cambio, las áreas no impresoras de la placa están recubiertas con un silicón oleóforo que rechaza las tintas grasas de la impresión. [9]  
[10]

## **Tamaño de impresión**

En impresión offset se considera formato pequeño el tamaño carta 230 x 300 mm incluyendo rebases. Actualmente la oferta en prensas de este formato presenta avances tecnológicos en cuanto a alta productividad, excelente calidad y flexibilidad para producir tirajes muy cortos en plazos de entrega estrechos. La impresión offset en prensas de formato pequeño continúa en primera línea para impresores cuyos clientes desean un alto grado de refinamiento, calidad exquisita, tirajes muy cortos y rápidas fechas de entrega. Estas prensas pequeñas, que han adoptado la mayoría de los avances tecnológicos de sus hermanas grandes, se acercan cada vez más a los conceptos de alta productividad, excelente calidad y posibilidad de ofrecer mayor valor agregado por su versatilidad y elevado grado de automatización. Además, los impresores de formato pequeño orientan el negocio hacia el buen servicio, pues cuentan con los argumentos para asumir un enorme potencial y competir muy favorablemente con la impresión digital, que ha dejado de ser un mercado de nichos y ha penetrado segmentos de su mercado. En cuanto a los formatos grandes



recientemente, se han desarrollado máquinas para la impresión de pliegos en formato máximo de 151 x 205 cm a 4 tintas. [9] [10]

### **Sustratos y tintas**

Las tres características más importantes de la tinta son:

- Sus características cromáticas, que incluyen su pureza, su correspondencia con el color estándar utilizado (por ejemplo EuroScale o SWOP) y su saturación.
- Sus características físicas, como fluidez y viscosidad.
- Sus características de secado sobre el papel. [10]

Las características cromáticas de la tinta dependen de sus pigmentos. Los pigmentos están constituidos por pequeñísimas partículas que pueden ser orgánicas o inorgánicas. Por ejemplo, se utilizan como pigmentos precipitados químicos y hollín. Para que los pigmentos queden ligados al papel, se mezclan con un agente aglutinante. La tinta debe tener una buena capacidad de adhesión al papel. El agente aglutinante también proporciona fluidez y cualidades litográficas a la tinta, e influye en sus características físicas. Se formula también para impedir que los pigmentos se disuelvan en la solución de mojado, evitando así el toning. Los agentes aglutinantes en las tintas offset están compuestos por resinas, alquidos y aceites minerales. La combinación de estos componentes es lo que le da a la tinta sus propiedades de secado.

Al aplicar la tinta sobre el papel, lo primero que se produce es la absorción del aceite mineral. Ello permite que la tinta se asiente, lo cual constituye la primera fase de secado; por eso, es importante que el papel tenga buena capacidad de absorción. Sin embargo, también es importante que los pigmentos no sean absorbidos, sino que queden sobre la superficie. Si son absorbidos, la saturación de color de la tinta resulta peor. Los pigmentos, los alquidos y las resinas que no son absorbidos por el papel, forman una especie de gelatina sobre la superficie.

Esta gelatina hace que la tinta quede lo suficientemente seca como para no repintar el siguiente pliego cuando se deposita sobre el anterior en la pila del recibidor. Este

gel se seca después mediante la oxidación del alquido por contacto con el oxígeno del aire. Ésta es la segunda fase de secado, y se denomina 'curado' de la tinta u oxidación. A veces se usa radiación UV (ultravioleta) para acelerar el curado y, en ocasiones, se utilizan agentes secantes sobre el pliego impreso para evitar el repinte. La función de los agentes secantes es mantener separados los pliegos, de modo que la tinta no esté en contacto con el siguiente pliego y lo repinte.

Se utilizan agentes secantes con partículas de diferente grosor, según los diferentes grados de rugosidad del papel. Su composición suele ser a base de almidón y carbonato de calcio.

La tinta para offset viene formulada para tener determinadas características físicas y químicas que favorezcan la transferibilidad, el control de emulsionamiento, la rapidez del secado, la fuerza de color y otras propiedades de la película seca como el grado de brillo y la resistencia a la abrasión. [9] [10]

### **Tiraje**

El tiraje en offset no debe ser menor a 500 por la diferencia mínima que implica una reducción del tiro más allá de estas cifras, aunque normalmente el tiraje mínimo es de 1.000 ejemplares (por el costo de la pre prensa, pruebas, placas y en particular negativos). [11]

Existe maquinaria rotativa que alcanza velocidades de hasta 70.000 ejemplares de 16 páginas/hora. El PVC pre-impreso u offset en PVC se utiliza para grandes volúmenes de producción o cuando el tiraje varía solo en algunos datos que pueden imprimirse luego a una sola tinta reduciendo considerablemente los costos. Offset en PVC es el método ideal para la producción de: tarjetas de afiliación, calendarios de bolsillo, tarjetas de crédito, entre otros. Hay dos tipos de máquinas offset: las de alimentación de pliegos y las de alimentación en bobina o rotativas.[10]

### **Trama**

En artes gráficas, las texturas de puntos que se usan para simular diversos colores y tonos variando su dispersión o su grosor. Hay dos tipos principales de tramas:

estocásticas y ordenadas (o PostScript). Las segundas son las más habituales en impresión comercial.[11]

### **Plancha**

En impresión, la pieza que lleva toda la información imprimible y que al recibir la tinta, la distribuye de forma significativa para que después se traslade a donde se va a imprimir (directa o indirectamente). [11]

### **Preprensa**

Sinónimo de "pre-impresión" y son todas las operaciones implicadas en la preparación y procesamiento de los materiales una vez diseñados para que sea posible imprimirlos. Dicho de otro modo, la etapa posterior al diseño y previa a la impresión. La separación de colores, la preparación de los negativos, el grabado de las planchas, son por ejemplo tareas típicas de pre-impresión.[11]

### **Marcas de registro**

En los trabajos de artes gráficas destinados a imprenta que llevan más de un color, unas marcas pequeñas (en forma de rayas y cruces finas) que sirven para casar las distintas pasadas de tinta (ya sea en fotolitos, pruebas, planchas o impresos finales) y comprobar que el trabajo está perfectamente registrado en todas sus tintas. [11]

### **Densitómetro**

Aparato de precisión que se usa para medir la densidad óptica de un material o superficie comparándola con un estándar de densidad específico.[11]

### **Cuentahilos**

Pequeña lupa que se usa en artes gráficas para examinar el detalle más fino de los originales, los impresos, los fotolitos y similares (Ver Figura B.5). Hay cuentahilos de muchos tipos, pero el más clásico se compone de tres piezas planas de metal que se pliegan entre sí. [11]

### **Papel estucado**

Papel que en su fabricación ha recibido una capa externa de un compuesto inorgánico para mejorar su acabado, dándole mayor suavidad y blancura. Su textura y terminación puede ser brillante, satinada o mate.[11]

### **Solución de mojado**

Para que la tinta no se adhiera a las áreas no impresoras de la placa, ésta se humedece con una delgada película de solución que contiene tensoactivos. Normalmente, para obtener las características deseadas, se añade entre 8% y 12% de alcohol isopropílico a la solución de mojado. Se forma una emulsión solución de mojado-tinta, una mezcla de pequeñas gotas de ambos líquidos, similar a la solución que se obtendría si se mezclase agua y aceite. Los valores del pH y la dureza de la solución de mojado deben ser los correctos y la conductividad baja, ya que las aguas duras contienen diversas sales minerales que, en ciertas cantidades, pueden causar la separación de los pigmentos de las tintas. Al disolverse, los pigmentos podrían mezclarse con el agua de la emulsión de las partes no impresoras, de modo que éstas se volvieran en parte impresoras. Este fenómeno, por el que la solución adquiere el color de la tinta y lo transporta hasta el papel, se denomina **toning** (coloración de zonas sin imagen). La dureza de la solución se controla mediante un aditivo regulador.[9]

### **La mantilla de caucho**

El cilindro porta-placas transfiere primero la imagen de impresión a un rodillo cubierto por una mantilla de caucho que, a su vez la transfiere al papel. El papel pasa entre un cilindro portamantilla y un cilindro de impresión. En un procedimiento indirecto de impresión, la imagen de la placa de impresión se lee en la misma dirección que en la imagen final. En cambio, en las técnicas directas, como la flexografía y la serigrafía, la imagen de la forma impresa es un espejo de la forma impresora. Es importante que la mantilla pueda absorber la tinta desde la placa impresora para transferirla al papel.

Si la mantilla tiene dificultad para transferir la tinta al papel, se puede rasgar la superficie de éste. La mantilla de caucho es un objeto delicado que, por efecto del

desgaste, debe ser cambiado frecuentemente, un aplastamiento de ésta conlleva una pérdida de elasticidad en las áreas comprimidas.[9][10]

### Unidad de impresión

La parte de la máquina de impresión en la que la tinta se transfiere al papel se llama unidad de impresión. En una máquina de imprimir offset, la unidad de impresión está generalmente compuesta por tres partes: un cilindro porta-placa, un cilindro porta-mantilla y un cilindro de impresión. La estructura de la unidad de impresión y su colocación varía, pero, para simplificar, se consideran cuatro versiones básicas: unidades de tres cilindros, unidades de cinco cilindros, unidades satélites y unidades perfector.

Actualmente, la unidad de tres cilindros es la versión más común en las máquinas de impresión offset de pliegos. Está compuesta por un cilindro de impresión, un cilindro porta mantilla y un cilindro porta-placa. Este conjunto impresor imprime sólo un color en una de las caras del papel. Cuando se imprime con más de una tinta, hay varios cuerpos de impresión en hilera, uno por cada tinta, y cada uno con su unidad de impresión de tres cilindros.[10]

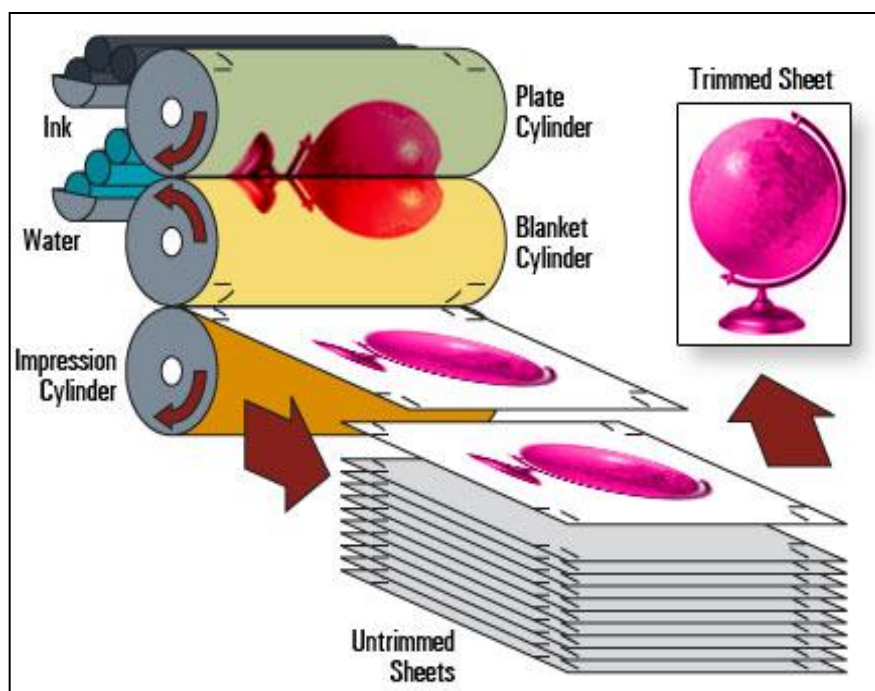


Figura 2.1 Sistema de impresión offset [12]

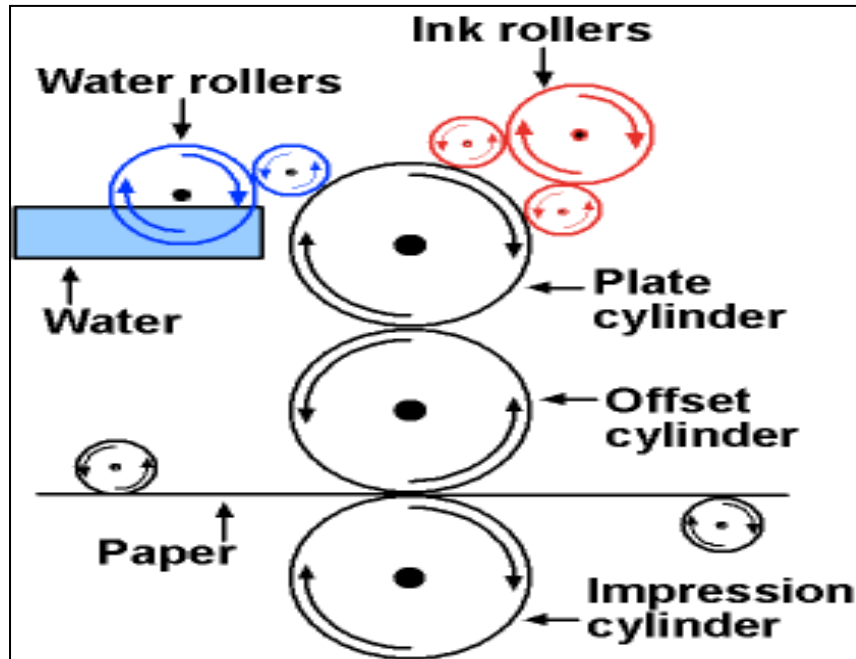


Figura 2.2 Sistema de transferencia fuente-tinta [13]

### Puesta a punto de la máquina

El concepto de puesta a punto (ajuste de máquina) hace referencia al conjunto de las operaciones que se realizan en la máquina de imprimir hasta la obtención del primer pliego aprobado. Dado que el tiempo de impresión tiene un costo, el objetivo es que este proceso se lleve a cabo en el menor tiempo posible, pero, en cualquier caso, existen una serie de pasos necesarios que deben cumplirse:

- Montaje y ajuste de la placa
- Regulación del dispositivo de alimentación
- Registro de los pliegos
- Pre configuración de los tornillos de tintero
- Registros
- Cobertura de tinta
- Comprobación de la prueba. [10]

### Consistencia de la prueba

La prueba final de preimpresión le debe dar al cliente una idea clara del aspecto final del producto impreso, por lo que es importante constatar que entre ambos existe la máxima similitud posible. Por eso se suelen hacer ajustes finales en la impresión.

[10]

## 2.2.2 GENERALIDADES DEL CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Una hipótesis estadística es una afirmación que se hace sobre una o más características de una población. Para efectuar el contraste se utiliza un estadístico cuya distribución en el muestreo se conoce. Se toma una muestra aleatoria y si el estadístico tomara un cierto valor que puede considerarse como justificación de la hipótesis, ésta es aceptada; en caso contrario, promueve su rechazo. Sin embargo, se corre el riesgo de rechazar una hipótesis verdadera o aceptar una falsa. [14][15]

### Principales conceptos utilizados en contrastes de hipótesis

- Hipótesis nula,  $H_0$ : es la afirmación que se acepta o rechaza como conclusión del contraste.
- Hipótesis alternativa,  $H_1$ : es la afirmación que se acepta cuando se rechaza la hipótesis nula.
- Estadístico de contraste o función de decisión del contraste: es una función de la muestra aleatoria simple, cuya distribución se utiliza para el contraste.
- Región crítica: conjunto de valores del estadístico de contraste que lleva al rechazo de  $H_0$ .
- Región de aceptación: conjunto de valores del estadístico de contraste que lleva a la aceptación de  $H_0$ .
- Error tipo I: es aquel que se comete cuando se rechaza la hipótesis nula siendo verdadera.
- Error tipo II: es aquel que se comete en la decisión de contraste cuando se acepta  $H_0$  siendo falsa.
- Nivel de significación: probabilidad de cometer un error del tipo I; se denota como  $\alpha$  (tamaño del contraste o significación predefinida). [16][17]

### Fases para realizar un contraste de hipótesis

- Enunciado de las hipótesis
- Elección del nivel de significación
- Selección de la función de decisión
- Determinación de la región crítica

- Cálculo del valor del estadístico seleccionado
- Conclusiones e interpretación práctica de los resultados. [16][17]

### Contrastes de hipótesis para poblaciones normales

Pueden realizarse contrastes bilaterales o unilaterales sobre los valores de los parámetros de poblaciones normales basados en estadísticos de distribución conocida, que permitirán calcular regiones críticas a un nivel de significación dado.[17]

**Tabla 2.1 Contrastes de hipótesis para una sola población [17]**

Hipótesis	Estadístico	Región crítica
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$	Normal $Z_o = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$	$Z_o > Z_\alpha$
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$	T de student $t_o = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$	$t_o < -t_{\alpha/2n-1}$
$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ $H_1: \sigma^2 \neq \sigma_0^2$	Chi- cuadrado $\chi_o^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$	$\chi_o^2 > \chi_{\alpha/n-1}^2$

Donde:

n: número de individuos población

$\mu$ : media poblacional

$S^2$ : varianza muestral

$\sigma^2$ : varianza poblacional

$\bar{X}$ : media muestral

Cuando se quieren contrastar dos o más poblaciones, existen varios estadísticos, entre ellos el normal modificado y la “t de student” modificada para comparar medias y el factor F de Fisher en el contraste de varianzas, y que se calcula como:



$$F_o = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.1) \quad [17]$$

La distribución F determina si los efectos principales son influyentes en los valores tomados por la variable de respuesta, más allá de la influencia de factores no controlables, mediante el contraste de las siguientes hipótesis:

$$H_0: \sigma^2 = \sigma_o^2$$

$$H_1: \sigma^2 \neq \sigma_o^2$$

Su región crítica se da cuando el valor F teórico es menor al calculado bajo el nivel de significación predefinido. En todo caso debe ser mayor que uno para que exista significancia del contraste. [16][17]

### **2.2.3 GENERALIDADES DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

En el ámbito industrial, cuando se presentan situaciones no deseadas en un proceso determinado, es común recurrir a la experimentación por ensayo y error, con el objeto de obtener mejoras. Algunas veces permite subsanar el problema; sin embargo, existen herramientas estadísticas que mediante un plan experimental adecuado, analizan estadísticamente los datos, garantizando la obtención de conclusiones y decisiones que derivan en mejoras del proceso en cuestión. Una de estas herramientas la constituye el diseño de experimentos, el cual se define como “un conjunto de técnicas que permiten manipular el proceso, para así inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo”. [14]

En la actualidad, dicha herramienta a nivel industrial se refiere a una serie de técnicas estadísticas y de ingeniería que permiten lograr la máxima eficacia de los procesos con el mínimo costo. Es preciso aclarar, que tales técnicas tienen aplicación tanto en la fase de diseño del producto y del proceso, como en procesos ya establecidos.

## Terminología básica en el diseño de experimentos

A continuación se presentan algunos términos y conceptos comunes aplicados a los estudios de investigación científica:

**Diagrama causa-efecto:** es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que lo generan. La importancia de este diagrama radica en que obliga a contemplar todas las causas que pueden afectar el problema bajo análisis y de esta forma se evita el error de buscar directamente las soluciones sin analizar a fondo cuáles son las verdaderas causas.

El método de las 6M's (ver Figura 2.3) es uno de los más comunes y consiste en agrupar las causas potenciales en aquellos elementos que aportan variabilidad en un proceso o en un producto. Por consiguiente, es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las 6M's.[14]

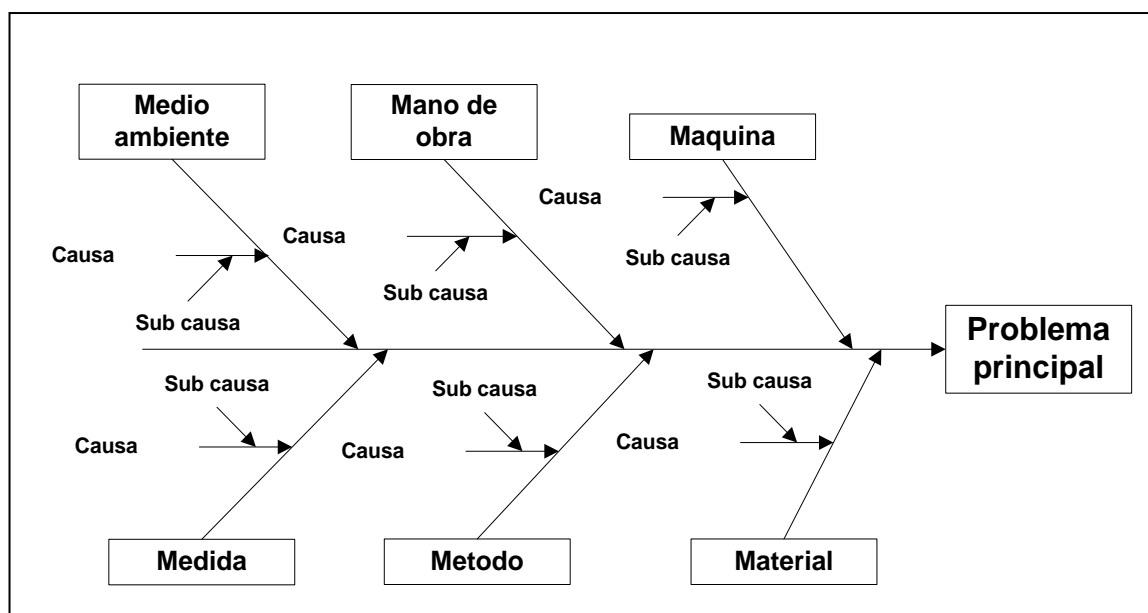


Figura 2.3 Diagrama causa-efecto

**Experimento:** se refiere a una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las condiciones de operación de un sistema o proceso, a fin de observar, evaluar, identificar y medir las implicaciones de dichas acciones en una o varias propiedades del producto.

**Variable de respuesta:** es la característica, variable de salida o propiedad del producto, cuyo valor interesa mejorar aplicando un diseño de experimentos.

**Factores de diseño:** también conocidos como factores independientes, son aquellos en los cuales se desea mejorar el análisis [14]. Se divide en:

- Factores constantes: aunque pueden tener un efecto significativo en la respuesta, no pueden ser variados para efectos del experimento, por lo cual son mantenidos fijos en un nivel especificado.
- Factores potenciales del diseño o estudiados: Son las variables que se investigan en el experimento para observar cómo afectan o influyen en la variable respuesta [14]. Se debe acotar que, para poder estudiar un factor, es necesario que se prueben al menos dos condiciones o niveles durante el experimento
- Factores perturbadores: Son aquellos que pueden influir en la respuesta experimental, pero no hay un interés específico en su estudio. Pueden ser:
  - Controlables: Su nivel puede ser ajustado por el experimentador.
  - No controlables: No es posible fijar su valor. Existen factores que varían de manera natural y no pueden ser controlados; pero se puede lograr su control para fines de la experimentación.

**Niveles:** son los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental.

**Tratamiento:** Son el conjunto de circunstancias creadas para el experimento, en respuesta a la hipótesis de investigación e implican la combinación de niveles de todos los factores.

**Unidad experimental:** es la entidad física expuesta al tratamiento, independientemente de otras unidades

**Principios básicos del diseño de experimentos**

**Réplica:** la comunidad científica considera la réplica de un experimento como el primer requisito para obtener resultados experimentales validos. La réplica se define como la repetición independiente del experimento básico; es decir, implica correr de una vez un tratamiento o combinación de factores.

Las razones más notables por las que se deben hacer réplicas de un experimento son:

- Proporciona los datos para estimar la varianza del error experimental.
- Demuestra que se pueden reproducir los resultados, al menos bajo las condiciones experimentales actuales.
- Proporciona cierto grado de seguridad contra resultados anormales en el experimento, debidos a accidentes no previstos.
- Proporciona la posibilidad de aumentar la precisión en la estimación de las medias de los tratamientos.

**Segregación por bloques:** consiste en nulificar o tomar en cuenta en forma adecuada todos los factores que pueden afectar la respuesta observada [14]. Este principio proporciona control local del ambiente para reducir el error experimental.

**Aleatorización:** las réplicas y la clasificación de las variables, por si solas, no garantizan estimaciones válidas de las varianzas del error experimental o de las comparaciones de tratamientos. Fisher señaló que la sola aleatorización proporciona estimaciones válidas de la varianza del error para los métodos de inferencia estadísticas justificadas para la estimación y pruebas de hipótesis en el experimento. La aleatorización es la asignación aleatoria de tratamientos a las unidades experimentales.

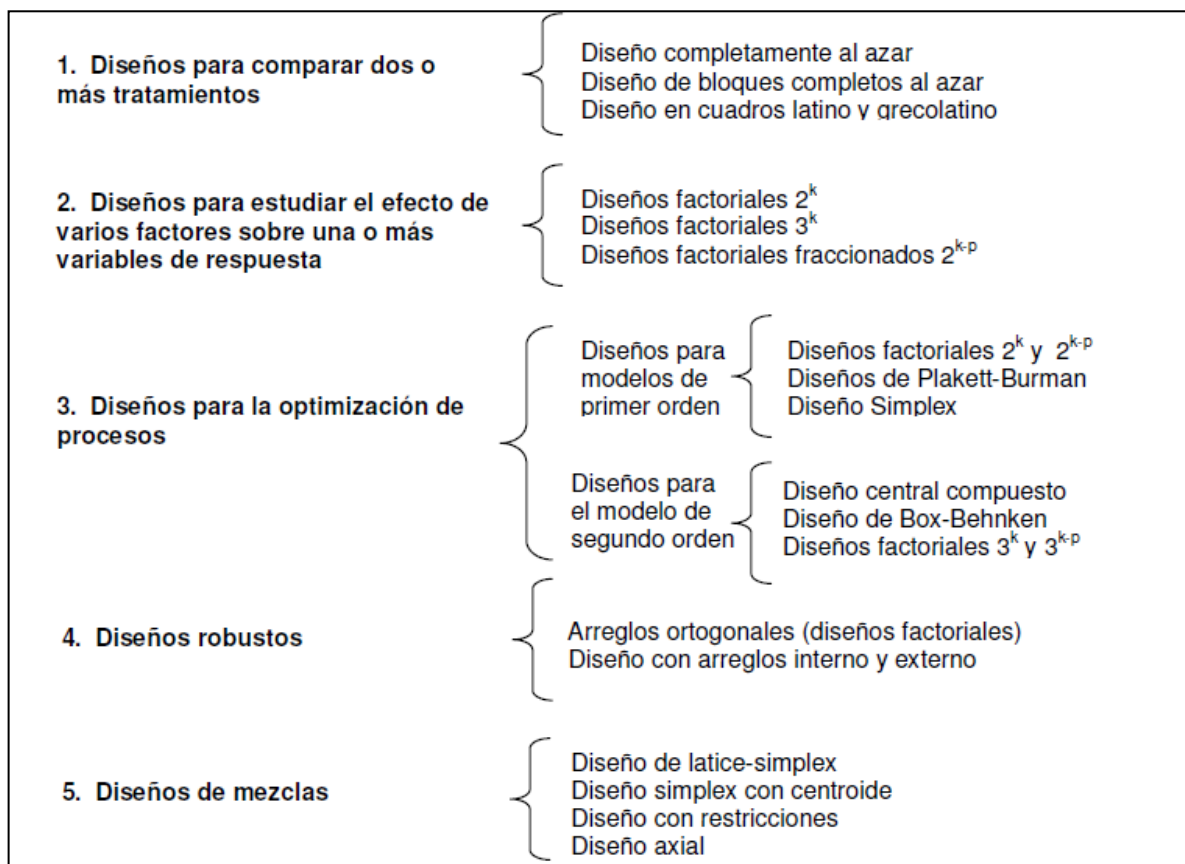
### **Clasificación y selección de los diseños de experimentos**

Existen ciertos aspectos que influyen marcadamente en la selección de un diseño de experimentos, los cuales no son independientes entre sí, pues al cambiar uno de ellos, también cambia el diseño a utilizar. Estos aspectos se citan a continuación:

- Objetivo del experimento
- Número de factores a controlar

- Número de niveles que se prueban en cada factor.
- Efectos que interesa investigar (relación factores – respuesta).
- Costo del experimento, tiempo y precisión deseada

El objetivo del experimento se ha empleado como criterio general para clasificar los diseños de experimentos, mientras que los otros cuatro puntos son útiles para subclasificarlos. De acuerdo con su objetivo, los diseños de experimentos se pueden clasificar según la Figura 2.4



**Figura 2.4 Tipos de diseño de experimentos [16]**

### Diseño factorial $2^3$

Este diseño estudia tres factores en dos niveles cada uno, y consta de ocho tratamientos diferentes ( $2 \times 2 \times 2$ ), que pueden nombrarse en diversas notaciones, según se muestra a continuación en la Tabla 2.2.

La notación de signos +,- es muy útil para escribir las matrices de diseño; además, combinada con la notación de Yates permite representar y calcular fácilmente los efectos de interés. Es preciso acotar que la notación de Yates representa el total o la suma de las observaciones en cada tratamiento; en específico, (1) es la suma de todos los datos obtenidos según el total de replicas del tratamiento (-1,-1,-1); “a” es la suma de todas las mediciones hechas en la combinación (+1,-1,-1), y así sucesivamente.

Si se corre una réplica del diseño, solo se tiene un dato en cada combinación, de manera que cada tratamiento en la notación de Yates representa ese único dato. En esta notación, si una letra minúscula está presente, entonces el factor correspondiente se encuentra en su nivel alto, si está ausente, el factor está en su nivel bajo.[16]

**Tabla 2.2 Notaciones diversas que representan un diseño factorial 2<sup>3</sup>**

Tratamiento	A	B	C	A	B	C	A	B	C	Notación de Yates
<b>1</b>	Bajo	Bajo	Bajo	-	-	-	-1	-1	-1	(1)
<b>2</b>	Alto	Bajo	Bajo	+	-	-	1	-1	-1	a
<b>3</b>	Bajo	Alto	Bajo	-	+	-	-1	1	-1	b
<b>4</b>	Alto	Alto	Bajo	+	+	-	1	1	-1	ab
<b>5</b>	Bajo	Bajo	Alto	-	-	+	-1	-1	1	c
<b>6</b>	Alto	Bajo	Alto	+	-	+	1	-1	1	ac
<b>7</b>	Bajo	Alto	Alto	-	+	+	-1	1	1	bc
<b>8</b>	Alto	Alto	Alto	+	+	+	1	1	1	abc

Este diseño factorial permite estudiar siete efectos, de los cuales tres efectos son principales A, B y C; tres interacciones dobles AB AC y BC, y una interacción triple ABC; esta última puede ser que no influya de manera significativa, aunque es recomendable asegurarse que su valor sea lo suficientemente pequeño para considerarlo como un efecto ignorable.

**Tabla 2.3 Contrastes para un factorial 2<sup>3</sup>**

Tratamientos	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
(1)	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
(a)	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
(b)	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
(ab)	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
(c)	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
(ac)	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
(bc)	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
(abc)	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Al multiplicar las columnas de signos de la Tabla 2.3 por la columna de totales representados por la notación de Yates, se obtienen los contrastes para los siete efectos, dados por:

$$\text{Contraste A} = [a + ab + ac + abc - (1) - b - c - bc]$$

$$\text{Contraste B} = [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$\text{Contraste C} = [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

$$\text{Contraste AB} = [ab - b - a + abc + (1) - bc - ac + c]$$

$$\text{Contraste AC} = [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]$$

$$\text{Contraste BC} = [(1) + a - b - ab - c - ac - bc + abc]$$

$$\text{Contraste ABC} = [a + b - ab + c - (1) - ac - bc + abc]$$

Si se hacen n réplicas de cada tratamiento, los efectos de un diseño 2<sup>3</sup> se estiman como se muestra a continuación:

$$Efecto_i = \frac{\text{Contraste}_{efecto_i}}{n \times 2^{k-1}} \quad (2.2) \quad [16]$$

Las sumas de cuadrados de los efectos se calculan a partir de sus contrastes según:

$$SC_{Efecto_i} = \frac{\text{Contraste}_{efecto_i}^2}{n \times 2^k} \quad (2.3) \quad [16]$$

La suma total de cuadrados se obtiene a partir de la ecuación:

$$SC_T = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{l=1}^2 \sum_{m=1}^2 y_{ijlm}^2 - \frac{Y^2}{n \times 2^k} \quad (2.4) \quad [16]$$

Donde:

$SC_T$ : Sumatoria total de cuadrados

$y_{ijlm}$ : Valor de la observación  $ijlm$

$i$ : cada combinación de tratamientos

$j, l, m$ : niveles de cada factor

$Y \dots$ : Suma de todas las observaciones

La suma de cuadrados del error ( $SC_E$ ) se calcula por sustracción:

$$SC_E = SC_T - (SC_A + SC_B + SC_C + SC_{AB} + SC_{AC} + SC_{BC} + SC_{ABC})$$

El cuadrado medio (CM) se calcula por:

$$CM_{Efectoi} = \frac{SC_{efecto_i}}{GL} \quad (2.5) \quad [16]$$

Donde:

GL: grados de libertad

**Tabla 2.4 Anova para el factorial  $2^3$**

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Fo</b>	<b>p - value</b>
<b>A</b>	$SC_A$	1	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	$P(F>F_o)$
<b>B</b>	$SC_B$	1	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	$P(F>F_o)$
<b>C</b>	$SC_C$	1	$CM_C$	$CM_C/CM_E$	$P(F>F_o)$
<b>AB</b>	$SC_{AB}$	1	$CM_{AB}$	$CM_{AB}/CM_E$	$P(F>F_o)$
<b>AC</b>	$SC_{AC}$	1	$CM_{AC}$	$CM_{AC}/CM_E$	$P(F>F_o)$
<b>BC</b>	$SC_{BC}$	1	$CM_{BC}$	$CM_{BC}/CM_E$	$P(F>F_o)$
<b>ABC</b>	$SC_{ABC}$	1	$CM_{ABC}$	$CM_{ABC}/CM_E$	$P(F>F_o)$
<b>Error</b>	$SC_E$	$2^3*(n-1)$	$CM_E$		
<b>Total</b>	$SC_T$	$n*2^3 - 1$			

Según se observa en la tabla anterior, es preciso correr el diseño con al menos dos réplicas, ya que se requieren dos repeticiones ( $n \geq 2$ ) para poder calcular el cuadrado medio del error, y así contar con suficientes grados de libertad para el error.



Cabe destacar que, para aplicar y analizar un diseño de experimentos, es fundamental plantear una hipótesis estadística, que es una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso que puede probarse a partir de la información contenida en una muestra. De esta manera, resulta imprescindible plantear una hipótesis nula ( $H_0$ ), que designe cualquier sentencia formulada que será sometida a la aprobación, y una hipótesis alternativa ( $H_A$ ), la cual debe aceptarse en caso de rechazar la nula.[16]

El factor de distribución de Fisher ( $F_0$ ), es un estadístico de prueba que permite probar la significación, a partir de comparar las varianzas de las medias en los tratamientos. Su magnitud permite discernir si se rechaza o no  $H_0$ , siempre y cuando se verifique el valor teórico a las mismas condiciones; al conjunto de posibles valores de  $F_0$  que llevan a rechazar a  $H_0$  se le llama región o intervalo de rechazo para la prueba, y a los posibles valores donde no se rechaza  $H_0$  se les llama región o intervalo de aceptación.[17]

La significación predefinida ( $\alpha$ ), es el riesgo máximo que el experimentador está dispuesto a correr en caso de rechazar la hipótesis nula planteada siendo verdadera [15]. La significación observada o calculada ( $p$  – value) es el área bajo la distribución de referencia más allá del valor del estadístico de prueba; este valor es difícil de obtener en forma manual, por lo cual se recomienda comparar el estadístico de prueba con un número o valor crítico que se lee en las tablas de la distribución de referencia, y se puede pensar como el número que separa las regiones de aceptación y rechazo. Se rechaza  $H_0$  si la significación observada es menor que la significación dada ( $p$ - value <  $\alpha$ ). Los coeficientes de determinación  $R^2$  y  $R_{aj}^2$  miden la proporción o porcentaje de variabilidad en los datos experimentales que explica el modelo considerado. Se definen de la siguiente forma:

$$R^2 = \frac{SC_{Total} - SC_{Error}}{SC_{Total}} \quad (2.6) \quad [16] \quad R^2_{aj} = \frac{CM_{Total} - CM_{Error}}{CM_{Total}} \quad (2.7) \quad [16]$$

Los valores de dichos coeficientes se encuentran entre 0 y 100%, y cuantifican la variabilidad presente en los datos que el modelo explica. En general, para fines de

predicción es recomendable un coeficiente de determinación ajustado de al menos 70%.

Los residuos se generan por la diferencia entre la respuesta observada y la respuesta predicha por el modelo en cada prueba experimental.

Luego de ejecutar y analizar los resultados de un experimento, es común que no se obtengan las respuestas buscadas, o bien el nivel de mejoras logrado no sea suficiente, por lo cual se debe experimentar de manera secuencial hasta encontrar el nivel de mejora deseado. De ahí el hecho que muchas veces, el diseño experimental se encamine a determinar las condiciones óptimas de operación de un proceso, aplicando ciertas estrategias experimentales.

Coeficiente de Kendall: El estadígrafo  $W$  (obtenido independientemente por Kendall y Babington-Smith, 1939, y por Wallis, 1939) sirve para estudiar la relación (acuerdo, concordancia) existente entre  $J > 2$  conjuntos de rangos. La necesidad de estudiar la relación entre  $J$  conjuntos de rangos se presenta con cierta frecuencia en diferentes áreas de conocimiento. Tales situaciones se producen, por ejemplo, cuando una muestra aleatoria de  $n$  sujetos u objetos es clasificada según  $J$  características; o cuando  $J$  jueces evalúan, ordenan o clasifican una muestra de  $n$  sujetos u objetos según una característica. El valor  $W$  oscila entre 0 y 1; mientras más cercano a uno, mayor concordancia.[18]

$$W = \frac{12 \times S}{k^2 (N^3 - N)} \quad (2.8) \quad [18]$$

Donde:

K: número de jueces.

N: número de factores ordenados.

S: suma de los cuadrados de los rangos

Distribución chi-cuadrado de Friedman: Si  $Z_1, Z_2, \dots, Z_v$ , son variables aleatorias e independientes, distribuidas normalmente con media cero y varianza 1, la suma de sus cuadrados, se representan en general por  $\chi^2$  (letra griega chi, o ji, al cuadrado) y donde:

$$\chi^2 = Z_1^2 + Z_2^2 + \dots + Z_v^2 \quad (2.9) \quad [18]$$

A la distribución probabilística asociada con esta nueva variable se le llama distribución chi-cuadrado, siendo su función de densidad:

$$\chi^2 = k \times (N - 1) \times W \quad (2.10) \quad [18]$$

Esta función permite determinar si ciertos valores cumplen o no con una varianza constante, lo cual los hace confiables o no. Está asociado directamente al rechazo o aceptación de hipótesis de concordancia de criterios. Se acepta la hipótesis nula cuando el valor experimental sea mayor al teórico (región crítica).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

*En esta sección se definirá el área de estudio y enfoque de la investigación, se presentarán las estrategias y actividades a realizar, con las cuales se lograrán los objetivos propuestos*

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El principal objetivo de esta investigación radica en el diagnóstico de la línea de producción de la empresa PICA, para identificar las condiciones que afectan a los materiales utilizados, de tal manera de proponer la alternativa de mejora más adecuada para el mencionado proceso. Por lo tanto, en cuanto al nivel de profundidad, el siguiente trabajo especial se clasifica como una investigación exploratoria y experimental.

Los estudios exploratorios se efectúan, normalmente, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes [19]; es por ello que este trabajo se clasifica como exploratorio, porque el problema de investigación en el ámbito de la industria litográfica ha sido poco abordado en esta región del país, y se busca entonces preparar el terreno para otros trabajos sobre el tema.

En cuanto al diseño de la investigación, la estrategia metodológica a emplear será experimental de campo, debido a que para el cumplimiento de los objetivos se recolectaron datos directo en el proceso, en una situación real en la que una o más variables serán manipuladas por los experimentadores en condiciones tan controladas como sea posible. [19]

## **3.2 FASES METODOLÓGICAS DE LA INVESTIGACIÓN**

Se exponen las fases definidas para el cumplimiento de cada objetivo específico y se desarrolla de manera evolutiva según el orden que imperen los objetivos. A continuación se enumeran las fases mencionadas:

**3.2.1 Diagnóstico de la línea de producción:** en esta fase se detectaron fallas y deficiencias en el proceso. Involucró todo lo referente a las distintas etapas que lo conforman, así como las principales actividades realizadas, para finalmente identificar los puntos en los que ocurren más pérdidas de material.

- **Revisión bibliográfica exhaustiva:** la finalidad fue ampliar conocimientos referidos a la industria litográfica, sus características y condiciones de producción. Esta fase fue de suma importancia en cada etapa de la investigación, ya que aportó algunas de las herramientas de sustento para las situaciones que se presentaron a lo largo del cumplimiento de los objetivos. Se buscó de manera exhaustiva antecedentes, trabajos de grado, artículos y manuales, que presentaran semejanzas con la investigación; muchas de estas fuentes fueron recopiladas en la red. Se realizaron lecturas críticas y consultas con los expertos en el tema.
- **Observación directa:** en primer lugar se determinó mediante observación, la situación actual del área de producción de PICA, las condiciones de almacenamiento de una forma macro, los materiales implementados y los productos elaborados. Se construyó así el diagrama de bloques permitiendo conocer cada etapa del proceso.
- **Instrumentos necesarios para la medición de la temperatura y humedad del área de almacenamiento:** para poder determinar las condiciones de almacenamiento, se instaló un termo-higrómetro para ambientes internos en el área, y por dos semanas se tomaron datos de temperatura y humedad a tres diferentes horas del día, que identificaron las condiciones de mañana, medio día y tarde.



**Figura 3.1 Termo higrómetro**

- **Entrevistas informales:** en esta parte se realizaron entrevistas en función del proceso y operación del área de producción de PICA, con preguntas no estructuradas con las que se obtuvieron información específica, para luego emitir conclusiones sobre las variables a estudiar y la mejor manera de evaluar el proceso. Dichas entrevistas fueron efectuadas a los operarios del proceso, ya que ellos son lo que constantemente están en contacto con el proceso.
- **Determinación de los puntos críticos del proceso:** por último, mediante reuniones con los expertos en el área, operarios y supervisores, previo análisis de las entrevistas, se determinaron los puntos más críticos en cuanto a pérdida de material y disminución de rendimiento del proceso de producción.

**3.2.2 Análisis y selección de los factores que influyen en el proceso:** teniendo una visión más clara del proceso, en esta fase se determinaron todos los factores incidentes en el proceso de producción, mediante la elaboración y análisis discriminatorio de un diagrama causa-efecto. Luego se jerarquizaron dichos factores mediante reuniones y con el uso de un diagrama de Ishikawa ponderado; de esta forma se identificaron las variables a manipular.

- **Diagrama causa-efecto:** con el fin de buscar, identificar y analizar con más detalles las causas y sub-causas posibles de las pérdidas de material, se procedió a construir un diagrama causa- efecto. Esto se logró en reuniones con los operarios y con los tutores en sesiones de tormenta de ideas, apoyadas en la observación directa y comprensión del diagrama de bloques de proceso.

Se siguieron los siguientes pasos:

- Se definió e identificó claramente cuál era el problema en estudio (efecto).
- Se realizaron sesiones de tormentas de ideas con personas especializadas en el área (operarios, tutor industrial, tutor académico), de tal manera de identificar las posibles causas del problema y, para cada una de ellas, las posibles sub-causas.

Luego de haber organizado y discriminado el diagrama causa-efecto, fue necesario establecer una jerarquía entre las causas, para así saber cuáles de ellas influía con mayor importancia sobre la pérdida de material en el área de producción de PICA.

- **Diagrama de Ishikawa ponderado:**

Mediante varias reuniones en donde a cada operario y a ambos tutores se les entregó un formato como el de la Tabla 3.1, en la que cada uno jerarquizó las sub-causas asignándole números, de tal forma que el número 1 representase la más incidente y el número mayor a la menos incidente, siendo este último la cantidad total de sub-causas evaluadas. Así la que se consideró en relación más directa con el problema fue aquella con el menor puntaje, mientras que la que se consideró que tuvo menor efecto en el problema fue la que obtuvo el mayor puntaje.

Es importante aclarar que, en esta herramienta, para que una sub-causa sea considerada significativa y de influencia en el problema, la concordancia debe tener un valor mayor o igual al 60%. [20]

**Tabla 3.1 Formato para la aplicación de un diagrama de Ishikawa Ponderado**

Proceso de producción PICA							
Sub-Causas	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp N+1	Exp N	Total	% C
Causa 1							
Causa 2							
Causa 3							
Causa N+1							
Causa N							
Total							

**Concordancia:**

$$\%C = \frac{CeA}{Ce} \times 100 \quad (3.1) \quad [20]$$

Donde:

%C: concordancia (%)

CeA: cantidad de expertos a favor (adim.)

Ce: cantidad de expertos consultados (adim.)

Después de un análisis exhaustivo, mediante discusiones grupales, se definieron las variables más influyentes en el proceso.

**3.2.3 Estructuración de un diseño experimental para el estudio del comportamiento de los factores más influyentes del proceso:**

la comprensión del proceso mediante la entrevista directa con operarios y reuniones, permitió la obtención de la mejor metodología experimental que se adaptara al comportamiento de las variables dependientes e independientes en PICA. Con ayuda de material bibliográfico sobre el tema, se establecieron dichas variables y la hipótesis bajo la cual se supone se rigen.



Luego de analizar las variables independientes y/o factores, y la finalidad de su medición, junto con una revisión bibliográfica para obtener información acerca de los factores más influyentes en la problemática planteada, se seleccionó una metodología experimental de recolección de datos y las réplicas necesarias, según la naturaleza del proceso. La investigación experimental tiene un control estricto de las variables no controlables y se basa en encontrar diferencias y establecer relaciones causa-efecto, garantizando flexibilidad, eficiencia, simetría y manipulación estadística.

Se compararon algunos modelos experimentales, buscando aquel que proporcionara de forma eficaz resultados apreciables para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas.

**3.2.4 Selección de los factores de control y los niveles por factor de las variables más influyentes del proceso:** esta etapa incluye el análisis y comprensión de las limitantes del proyecto para aplicar el método de diseño experimental seleccionado en la etapa anterior.

Habiéndose jerarquizado los factores; fue necesario preguntarse cuáles eran realmente manipulables en el proceso, cuáles controlables y cuáles que escapaban del control de los experimentadores, tomando en cuenta las limitaciones para cada uno.

Una vez seleccionados los factores de control y los factores a manipular para obtener variaciones en la respuesta, se identificaron éstos con letras mayúsculas, y a sus niveles con letras minúsculas. Se ubicaron dos niveles para cada uno, a saber, alto (+) y bajo (-), debido a su naturaleza cualitativa.

Para generar la estructura factorial, se usó el método tabular para evitar que el efecto de un factor esté confundido con el de otro factor no intencionado y se introduzca sesgo en los valores de los efectos. Se construye la matriz de  $2^k$  filas ( $2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$  experimentos) y  $k$  columnas, que corresponden a los  $k$  factores en estudio. Si se construye en el *orden estándar*, cada columna empieza por el signo —,

y se alternan los signos – y + con frecuencia  $2^0$  para  $x^1$ ,  $2^1$  para  $x^2$ ,  $2^2$  para  $x^3$ , y así sucesivamente hasta  $x^k$ , donde los signos se alternan con una frecuencia  $2^{k-1}$ .

Se evaluaron ocho combinaciones de factores y dos repeticiones para cada experimento. Para llevar a cabo los experimentos, se seleccionó un arte variado dividido en cuatro secciones (ver Apéndice B.3 y B.4) en donde fuese posible observar variaciones en el patrón de impresión, se usó papel reciclado y tinta negra, siendo ésta la más solicitada de acuerdo a la producción en PICA.

Se colocó la máquina en funcionamiento y se dejó pasar en condiciones controladas 30 hojas, para lograr el control en los factores. Para cada uno de los tratamientos se dejaron pasar 50 hojas y se fue variando un nivel por factor y no todos al unísono, con 25 hojas por cada tratamiento.

Se evaluó cada sección en busca de errores de impresión, cuya presencia o ausencia determinará la calidad de la impresión. [22] [23]

Finalmente el rendimiento para cada corrida se evaluó con:

$$\%R = \frac{Hb}{Ht} \times 100 \quad (3.2) \quad [24]$$

Donde:

%R: rendimiento del proceso de impresión (%)

Hb: hojas buenas en la corrida (adim.)

Ht: hojas totales (adim.)

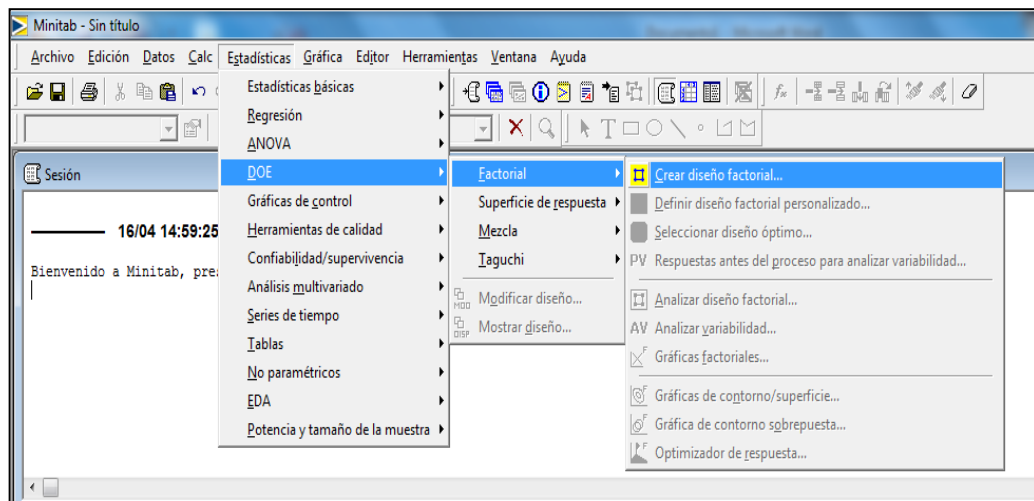
**3.2.5 Análisis del comportamiento de los factores:** para lo que se usó un programa estadístico que permitiera una buena distribución y estudio de los datos. Esta etapa fue de suma importancia para la proposición de alternativas, ya que se plantearían aquellas que contemplen la mejor combinación de factores para una buena impresión.

Los resultados obtenidos en el experimento fueron procesados por una herramienta estadística llamada MINITAB, en donde se introdujeron los valores de rendimiento hallados en todas las etapas del experimento, obteniendo como respuesta la

combinación más adecuada de los factores estudiados, para llevar a cabo el proceso de impresión con la menor cantidad de errores posibles.

Los pasos para la evaluación de los datos se describen a continuación:

Estadística / DOE / Factorial / Crear diseño factorial

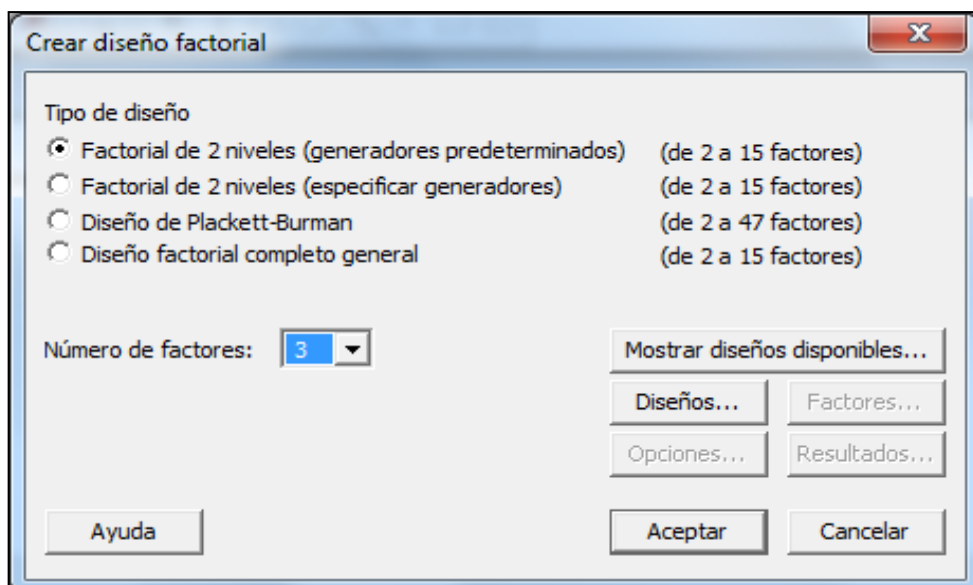


**Figura 3.2 Ventana Minitab para crear diseño factorial.**

Apareció una ventana: Crear diseño factorial

Tipo de diseño: Factorial de dos niveles (generadores predeterminado)

Número de factores: 3



**Figura 3.3 Ventana Minitab para la definición de los factores.**

Mostrar diseños disponibles

Se mostraron los diseños disponibles

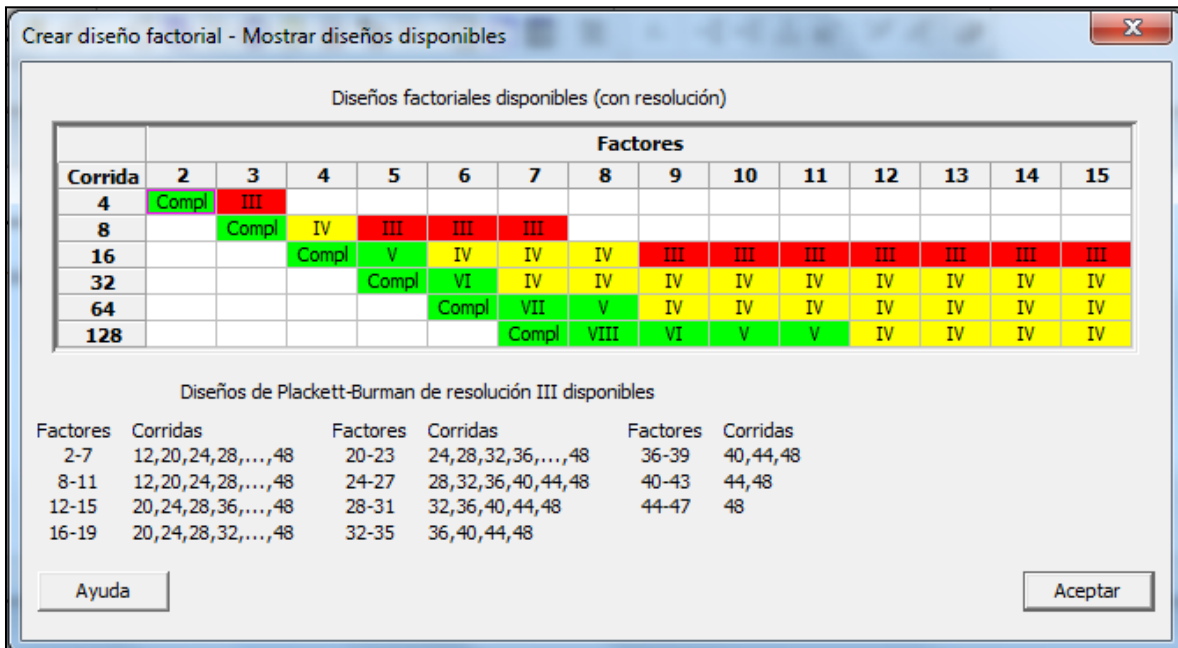


Figura 3.4 Ventana Minitab de diseños disponibles.

Se presionó "Aceptar"

Luego se presionó en Diseños

Se muestran los tipos de diseños: factorial fraccional, factorial completo

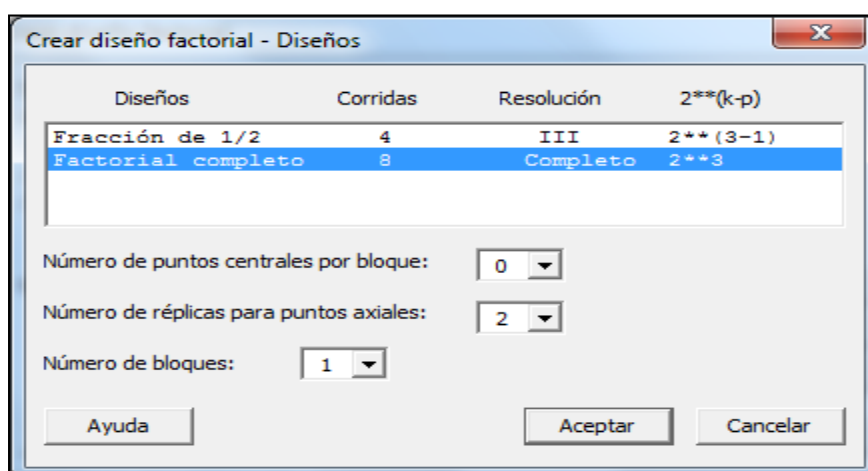


Figura 3.5 Ventana Minitab para seleccionar tipo de diseño.

Se seleccionó el diseño y se estableció el número de réplicas. Luego se presionó “Aceptar”. Se presionó en Factores

Se mostró la Tabla de factores, la cual se completó con los datos del experimento.



Figura 3.6 Ventana Minitab de definición de factores.

Una vez completados se presiona “Aceptar”. Se presionó opciones:

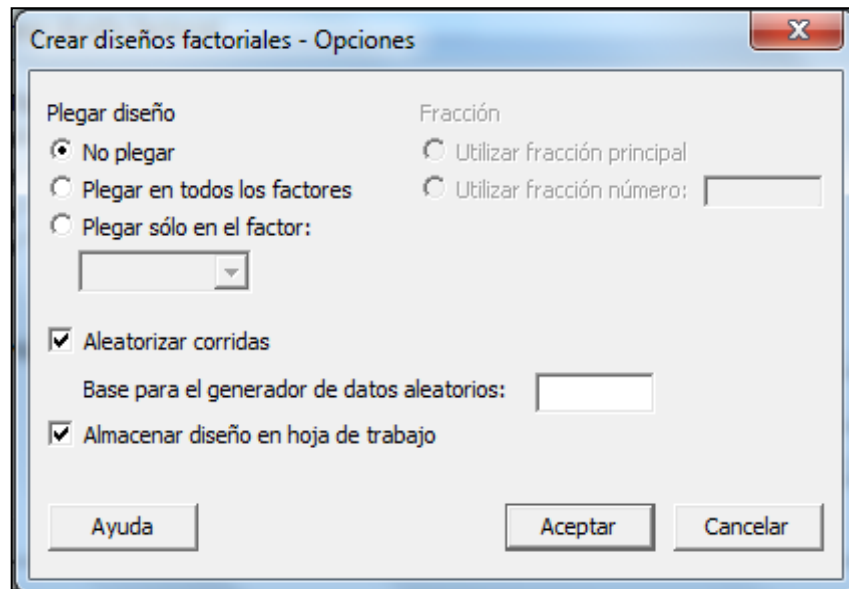


Figura 3.7 Ventana Minitab de opciones de diseño.

Para este experimento se dejó como estaba y se presionó “Aceptar”. Se seleccionó tabla de resumen, tabla de alias (Se genera si hay efectos iguales para factores e interacciones), tabla de diseño, y se presionó “Aceptar”

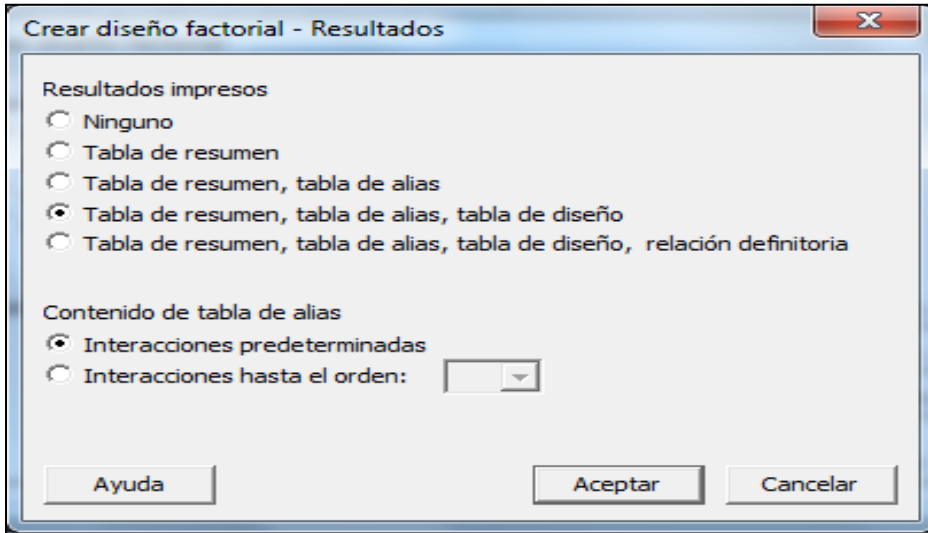


Figura 3.8 Ventana Minitab de configuración de resultados.

Se presionó “Aceptar”. Una vez culminado el experimento se procedió a ingresar los resultados en la columna C8.

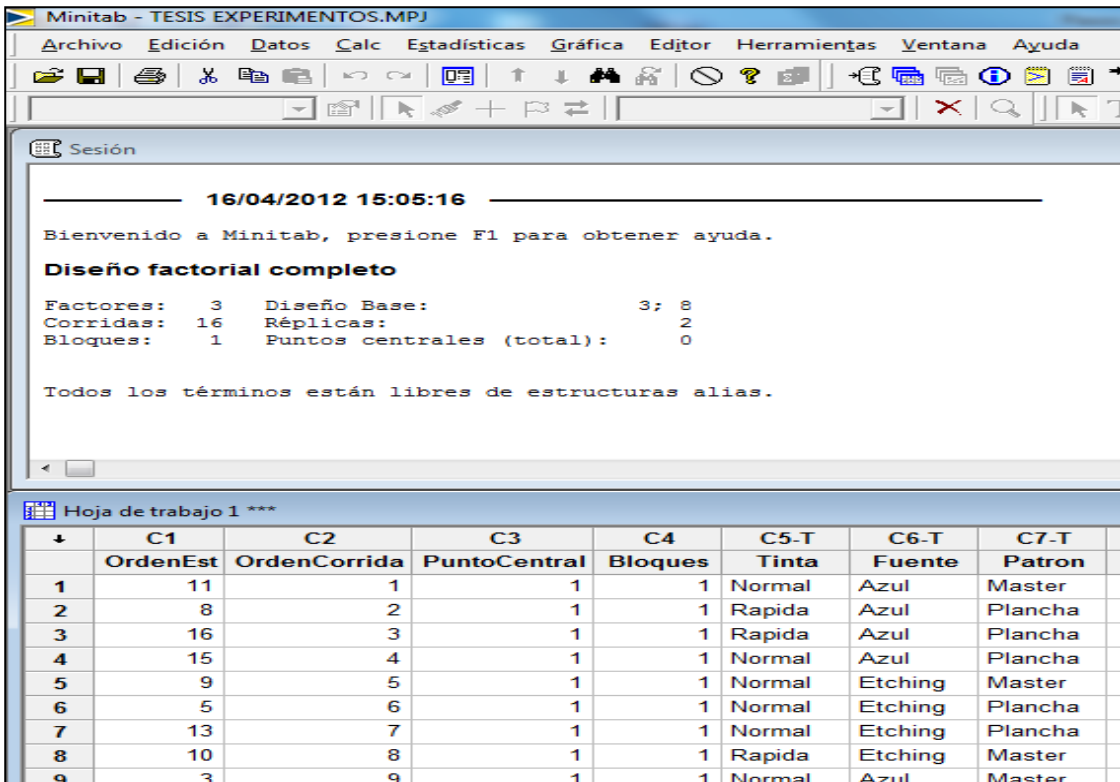


Figura 3.9 Ventana Minitab que muestra información del diseño.

↓	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6-T	C7-T	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	PuntoCentral	Bloques	Tinta	Fuente	Patron	
1	11	1	1	1	Normal	Azul	Master	34
2	8	2	1	1	Rapida	Azul	Plancha	56
3	16	3	1	1	Rapida	Azul	Plancha	57
4	15	4	1	1	Normal	Azul	Plancha	76
5	9	5	1	1	Normal	Etching	Master	30
6	5	6	1	1	Normal	Etching	Plancha	72
7	13	7	1	1	Normal	Etching	Plancha	75
8	10	8	1	1	Rapida	Etching	Master	48
9	3	9	1	1	Normal	Azul	Master	36

Figura 3.10 Ventana Minitab de combinación de niveles y factores.

Para conocer los efectos y las interacciones

Estadísticas/ DOE / Factorial / Gráficas factoriales

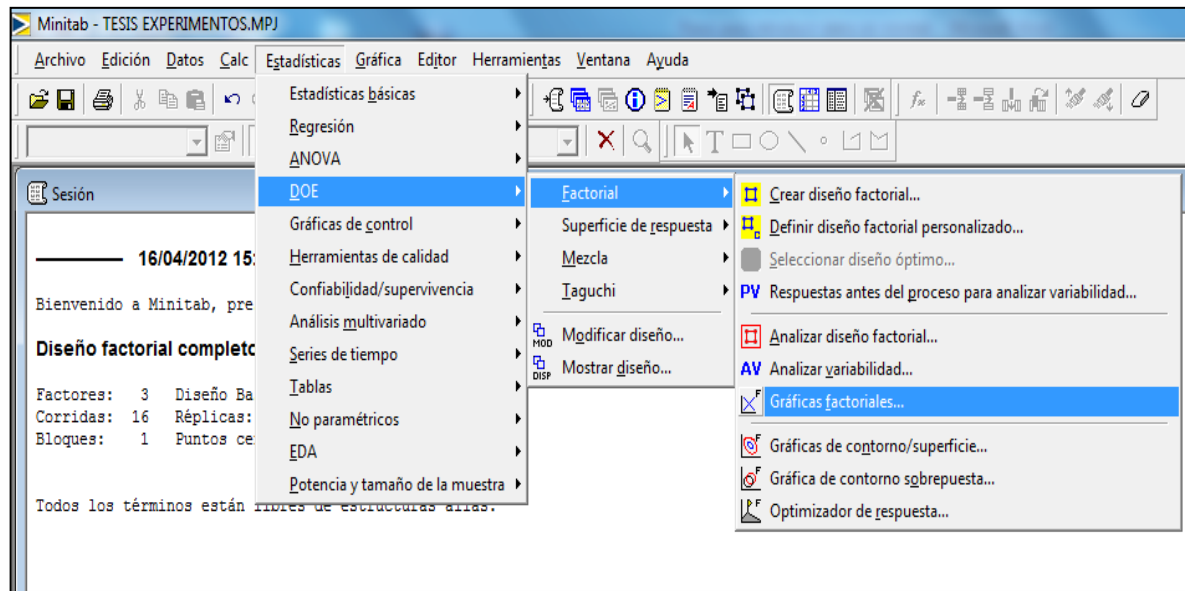
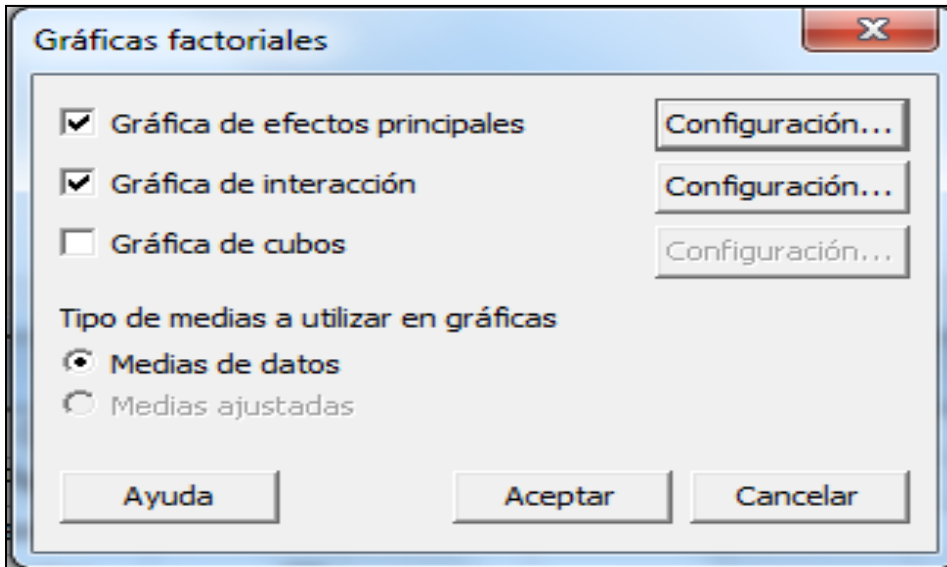


Figura 3.11 Ventana Minitab para crear gráficas factorial.

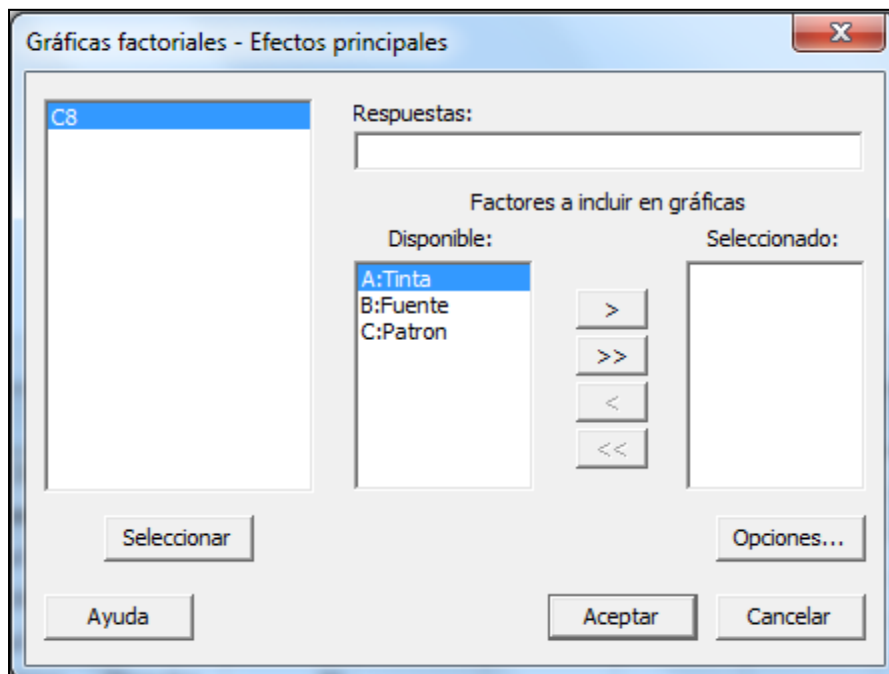
Se seleccionó Gráficas de efectos principales y graficas de interacción.



**Figura 3.12 Ventana Minitab de selección de graficas.**

Se seleccionó "Configuración"

Para las gráficas de efectos principales, se colocó el cursor sobre la zona de respuestas y luego se seleccionó C8 en la columna izquierda haciendo doble click.



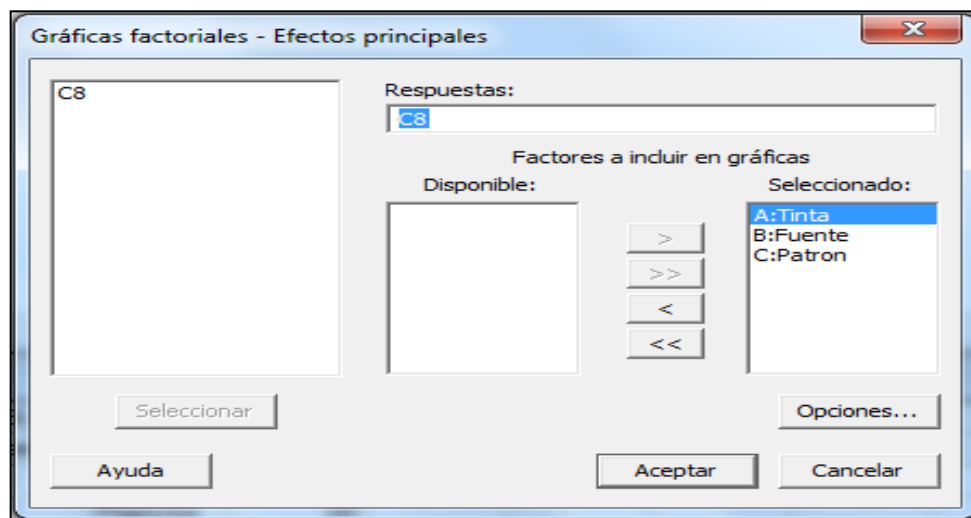
**Figura 3.13 Ventana Minitab para configuración de gráfica de efectos principales.**

Se presionó





Para seleccionar todos los factores y obtener las graficas deseadas



**Figura 3.14** Ventana Minitab para configuración de gráfica de efectos principales con factores seleccionados.

Se presionó "Aceptar"

Luego se seleccionó nuevamente "Configuración"

Para generar las gráficas de interacción, se procedió a seleccionar la respuesta y los factores de la misma forma que para las gráficas de efecto principal.

Posteriormente, y con la finalidad de investigar cuáles efectos eran activos significativos para el caso de estudio, fue preciso probar las hipótesis de interés mediante un análisis de varianza (ANOVA).

**3.2.6 Planteamiento de las alternativas:** se refiere a la propuesta del conjunto de alternativas, en busca de mejora del proceso de producción. Se generaron alternativas, tomando en consideración las variables analizadas anteriormente con el experimento y su discriminación y análisis a través del programa estadístico seleccionado. También haciendo uso del diagrama causa-efecto general y material bibliográfico.

**3.2.7 Estimación del beneficio asociado a la propuesta:** con la finalidad de conocer el beneficio que se generará en la línea de producción al implementar de las alternativas planeadas, disminuyendo la pérdida de material durante el proceso de impresión.

Tomando en cuenta el diseño utilizado en el experimento, se observó la diferencia de rendimiento obtenido con las combinaciones de factores más resaltantes. De forma tal que fuese posible establecer un estimado de la disminución de material perdido.

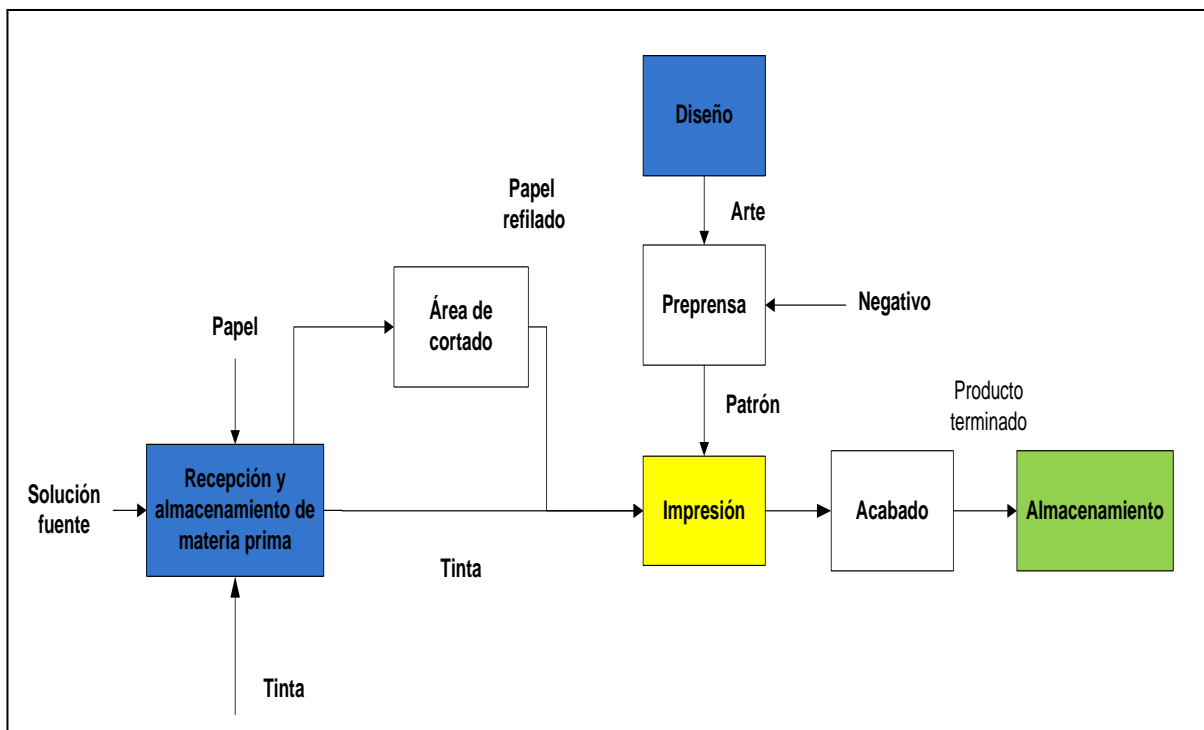
## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

*En este capítulo se analizan y discuten los resultados obtenidos durante el desarrollo de las diferentes actividades, desde el diagnóstico inicial hasta la propuesta de alternativas de mejora.*

#### 4.1 Diagnóstico de la línea de producción.

Para comprender el funcionamiento y estado de la línea de producción, ubicación de los equipos y el desarrollo de las actividades; fue necesaria la visita y observación directa y diaria del proceso reforzada con entrevistas a las personas más cercanas al proceso. Con el recorrido se elaboró el diagrama de bloques de proceso (Ver Figura 4.1) en donde se evidencian cinco etapas muy importantes que se explican a continuación.



**Figura 4.1 Diagrama de bloques del proceso productivo en PICA**

**a) Diseño:** el proceso de diseño enmarca la creación del arte final y la empresa desarrolla la idea planteada por el cliente mediante equipos y software de diseño gráfico. Cada presentación se somete a revisión previa y aprobación del cliente, lo que requiere de impresiones en formatos digitales de calidad. Un diseño o arte puede estar compuesto por cuatro o menos colores. Los básicos son cian, magenta, amarillo y negro; que al mezclarse entre sí en diferentes proporciones dan como resultado una gran gama de colores.

En este proceso son revisados y adecuados los archivos del cliente a las capacidades de las máquinas de impresión. Una vez ajustado el archivo, se imprime una prueba denominada digital (impresión en blanco y negro) y se elabora una prueba Matchprint (impresión a color), que permite tener una aproximación a la impresión final.

**b) Preprensa:** luego que las pruebas han sido autorizadas por el cliente, se elaboran los negativos correspondientes a cada color y son plasmados en las placas, siendo éstas las encargadas de portar la imagen que será impresa. El principio es hacer una imagen inversa del negativo sobre una plancha de aluminio, lo cual se logra sometiendo la plancha a una luz intensa por cuatro minutos (previamente unida al negativo por presión de vacío); pues ésta contiene reactivos fotosensibles, haciendo visible la imagen que es fijada luego mediante lavados químicos (reveladores).

**c) Refilado:** corresponde a cortar el papel para obtener el tamaño adecuado y se da en dos etapas. La primera es cuando se prepara el material en bruto o papel virgen, logrando el tamaño de referencia, el segundo paso, es cuando el documento está impreso y se busca dar un tamaño final.

**d) Impresión:** es la actividad donde la tinta con ayuda de un portaimagen es puesta por presión sobre un sustrato. Una vez se tienen los portaimágenes, son instalados en las máquinas impresoras para realizar la operación. El papel donde se va a imprimir es refilado de acuerdo a la medida de entrada a máquina, la cual posee un sistema de humectación y entintado, que traspassa la imagen a la superficie de la placa al momento de su rotación.

La humedad se adhiere en toda la superficie de la placa y la tinta sólo se deposita en las zonas de imagen previamente tratadas con una emulsión receptiva. La placa reproduce la imagen en el caucho del cilindro; al mismo tiempo, el alimentador de pliegos proporciona papel al cilindro impresor, que imprime por compresión de los cilindros giratorios.

Básicamente, se dan tres operaciones: la prueba de impresión, la impresión propiamente dicha y el lavado de la prensa. La prueba de impresión se hace para poner a punto el sistema y allí es donde se presenta parte del desperdicio de papel. Al conversar con los operarios, ellos explican que el número de pruebas varía dependiendo de los colores; mientras más colores tenga un diseño, más pruebas deben hacerse para verificar que no existan problemas de duplicado o sobreimpresión, desplazamiento de la imagen, entre otros. Luego se imprime y se da el lavado de la prensa, en la que se retiran los restos de tinta al finalizar, o cuando hay un cambio de color.

**e) Acabado/compaginación:** el acabado puede ser pegado, plegado y empacado, entre otros, dependiendo del tipo de documento que se desee obtener. Por lo tanto, el acabado puede ser para folletos, libros, troqueles para figuras, talonarios, tarjetas, etiquetas, periódicos, etc.

En cuanto a la compaginación, tres personas son las encargadas de colocar en el orden correcto, ya sea facturas, talonarios, etc. En esta etapa se cumple una especie de control de calidad, ya que puede hasta detenerse la entrega del producto por encontrar algún desperfecto.

Entre las actividades de acabado, se tienen las siguientes:

- *Suaje:* Es cuando el papel tiene un alto gramaje y requiere de dobleces, cuando la forma final es compleja y no puede ser lograda a través de guillotina, o cuando lleva perforaciones para el inserto de tarjetas.
- *Doble:* Es para obtener dípticos, trípticos, cuadrípticos o cartas con doblez.
- *Encuadernado:* Es para engrapar y obtener la formación correspondiente de acuerdo a números de página de revistas y talonarios de facturas.

Existen operaciones que deben ser realizadas de manera manual, como son: enfajillado, empackado, alzado, despunte, pegado, etc. Una vez que los productos están terminados, se programan las entregas de acuerdo a la orden de trabajo correspondiente.

La materia prima es todo aquel elemento que se transforma e incorpora en un producto final. De allí su importancia, sin ésta no hay producto. Existen diversos materiales que pueden ser usados en el proceso de impresión, pero los más importantes son la tinta, el papel, el patrón y el agua de impresión. Ahora bien, cada uno de estos materiales tiene diferentes características, que pueden ser un beneficio dependiendo del tipo de trabajo.

El papel para impresión es hoy un importante soporte y vehículo de suministro de información y publicidad. Los avances en la transmisión electrónica de datos no han reducido su uso, sino todo lo contrario lo han incrementado. Con cientos de utilidades finales, el papel satisface necesidades de comunicación, culturales, educativas, artísticas, higiénicas, sanitarias, de distribución, almacenamiento y transporte de todo tipo de mercancías y, en función de ellos, el producto se diseña cumpliendo una serie de requisitos de textura, resistencia, suavidad, absorción, etc.

De acuerdo a su superficie, se puede clasificar a los papeles y cartulinas básicamente en cubiertos, no cubiertos y gofrados o con textura. Por su calibre, en papeles, cartulinas y cartones. En las Tablas 4.1 y 4.2 se muestran los tipos de papel usado en PICA.

En cuanto a las tintas, en PICA se usan tintas de diferentes características, principalmente diferenciadas por el tiempo de secado. Para que la tinta no se adhiera a las áreas no impresoras de la placa, se humedece con una película delgada de agua, mojándola antes de aplicar la tinta. Como la tensión superficial del agua no le permitiría cubrir de forma uniforme toda la superficie, tiende a generar pequeñas gotas separadas; para evitarlo, es necesario reducir la tensión superficial con la presencia de algún tensoactivo. En PICA se utilizan dos tipos de solución de mojado, fuente azul y etching.

**Tabla 4.1 Tipo de papeles empleados en PICA**

<b>Tipo de papel</b>	<b>Características</b>	<b>Gramaje</b>
<b>Bond</b>	Papel para escritura o impresión en base a algodón	16
<b>Bond autoadhesivo</b>	--	187
<b>Glasse</b>	Posee una cara más brillante que la otra	90, 115, 150, 250, 300, 350
<b>Imprenta</b>	Para rotativas de alta velocidad	49
<b>Litho autoadhesivo</b>	Estucado Posee una cara más brillante que la otra	--
<b>Químico</b>	Permite reproducir el contenido a una o más copias	Primera hoja: 56 Intermedio: 64 Ultima hoja:56
<b>Papel Kimberly</b>	--	90

**Tabla 4.2 Tipos de cartón y cartulina empleados en PICA**

<b>Tipo de cartón</b>	<b>Características</b>	<b>Gramaje</b>
<b>Cartulina Opalina blanca y de colores</b>	Superficie satinada Uniformidad al trasluz Blancura alta Colores desde su pulpa	220
<b>Cartulina Bristol</b>	--	190
<b>Cartulina Kimberly</b>	--	230
<b>Reverso periódico o sulfato</b>	Marrón en ambas caras Elaborado con material reciclado	1000
<b>Sulfato sólido</b>	Caras y centro blanco Conformado de papel de pulpa virgen.	Calibre 16

Los patrones encargados de contener la imagen, se clasifican en PICA dependiendo del tiraje (Ver Tabla 4.3).

**Tabla 4.3 Tipos de patrón usados en PICA**

<b>Tipos de patrones</b>	
<b>Máster de papel</b>	Tiradas cortas. hasta 1000 impresos
<b>Máster de poliéster</b>	Tiradas hasta de 5000 impresos
<b>Plancha metálica</b>	Tiradas altas más de 5000 impresos

PICA ofrece un sinnúmero de productos que siempre pueden ser adaptados a los requerimientos del cliente, en cuanto a color y acabado final. Los productos que se elaboran con mayor frecuencia son agendas, tarjetería en general, impresión digital, señales de seguridad, calcomanías, grabado laser, cartulinas especiales, órdenes médicas, papelería pop, formas continuas, blocks, talonarios, etiquetas, estuches y cajas impresas, volantes, entre otros.

Se midió de forma continua por dos semanas la temperatura y la humedad en el área de producción, tres mediciones por día (ver Tabla A.1), obteniéndose que el área se encuentra a  $(26,0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$  con una humedad de  $(53,0 \pm 0,1)\%$ .

La elongación o contracción que experimentan los papeles por absorción o pérdida de agua es intrínseca a su constitución. Estudios cuidadosos han demostrado que la humedad absoluta apropiada en los papeles litográficos está comprendida entre 45 y 55%, pero depende del tipo del papel y proceso de impresión [25]. En PICA la humedad promedio se mantiene entre dichos valores; de allí que se puede afirmar que no se está muy lejos de los valores de humedad ideal para los papeles que se almacenan. En cuanto a la temperatura debe encontrarse entre  $18^\circ\text{C}$  y  $22^\circ\text{C}$ , claramente alejado del valor promedio en PICA, pero como el área de



almacenamiento se encuentra en el área de producción y no están divididas, se presentan estas variaciones.

Mediante observación fue posible verificar que algunos sustratos no son almacenados de la mejor forma, presentando ondulaciones en su superficie, que se convierten a la final en pérdidas de material, debido a que un sustrato con dicha anomalía desembocaría en una mala impresión. No hay un lugar específico para el producto terminado, con lo que se genera aglomeramiento y se pierde espacio de tránsito para el operario. Otro punto que llamó mucho la atención, es que las tintas se dejan al aire libre en “cajas de papel”, secándose y perdiéndose. No hay control para cada etapa en el proceso, sino algunas supervisiones. También se observó que los operarios no usan ningún equipo de protección (mascarillas y lentes protectores, botas de seguridad, entre otros)

Si la tinta a usar entre un trabajo y otro es la misma, la máquina se apaga, pero no se lava. También se hicieron entrevistas informales a los operarios, quienes manifestaron entre otros aspectos que, como todo proceso, se presentan fallas que pueden ser disminuidas e incluso eliminadas. Manifiestan falta de comunicación entre algunas etapas del proceso, específicamente la de diseño y pre prensa, en cuanto a órdenes mal procesadas, lo que desemboca en pérdida de tiempo y de material.

Coinciden en que la etapa en la que se concentra la mayor pérdida de material es la de impresión, pero por supuesto influenciada por errores arrastrados desde etapas anteriores.

#### **4.2 Selección de los factores que inciden en el proceso de producción**

En la Figura 4.2, se presenta el diagrama causa-efecto elaborado para el proceso de producción de PICA, tomando en cuenta las entrevistas, las observaciones y las reuniones con expertos.

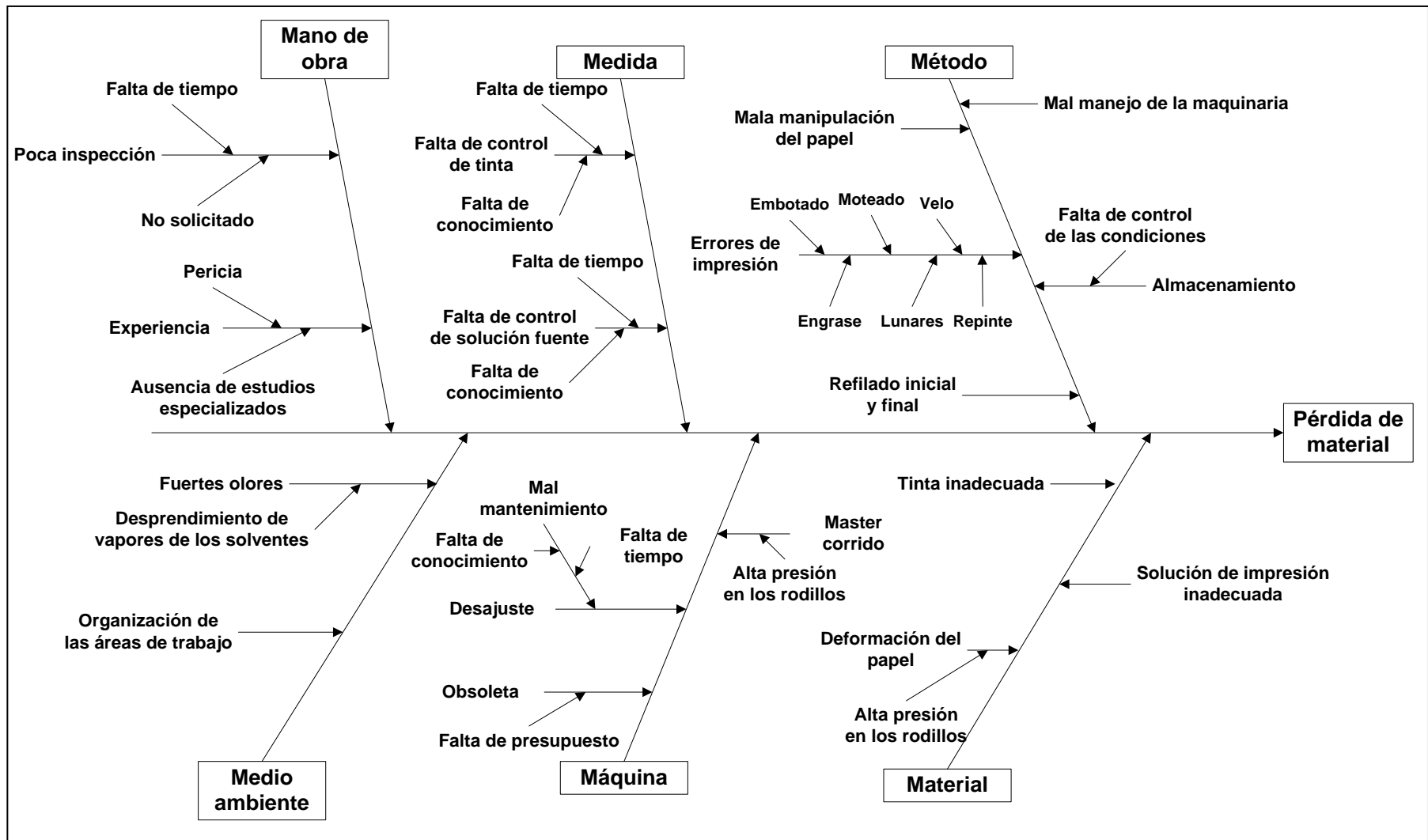


Figura 4.2 Diagrama causa- efecto del proceso de producción en PICA.

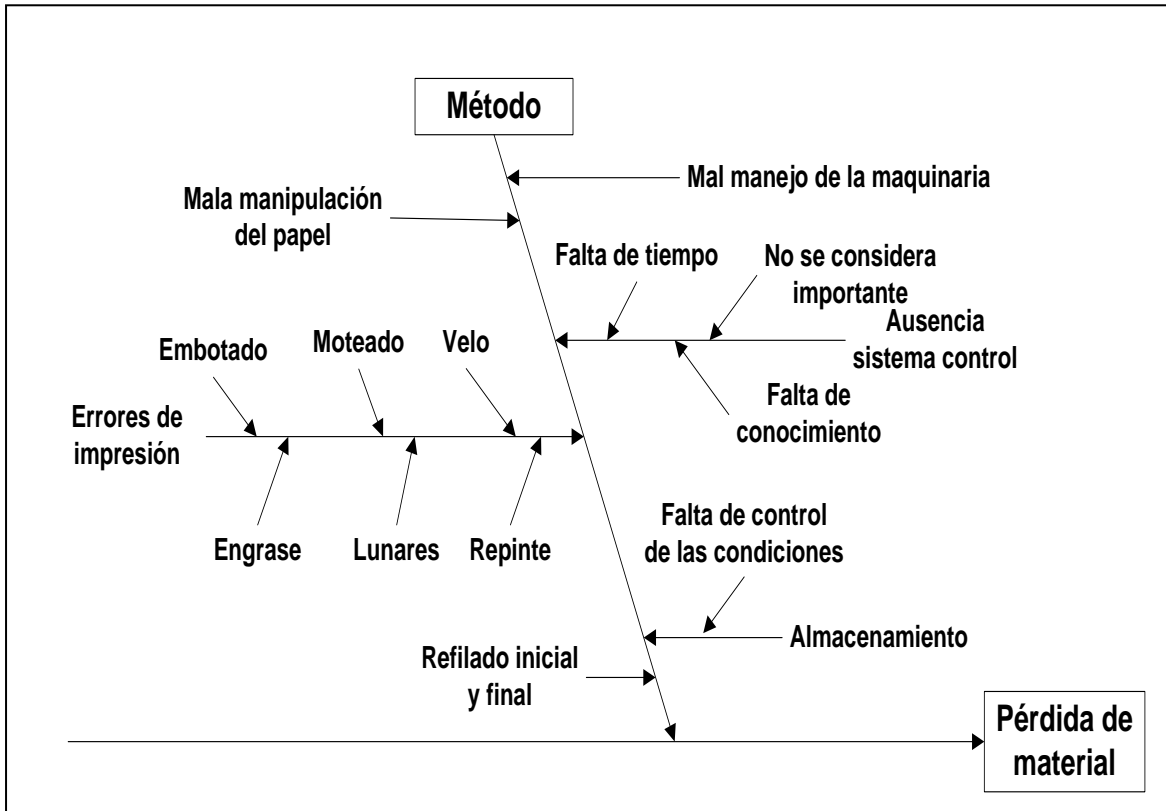
La mayor parte de las causas asignadas en el proceso de producción se concentran en la categoría método, siendo la de mayor incidencia en la pérdida de material en PICA, según los expertos y los análisis discriminatorios llevados a cabo para mejorar aún más los diagramas causa-efecto, debido a que en dicha rama, se encuentran una serie de factores como manipulación incorrecta de la maquinaria, almacenamiento y errores de impresión, que influyen directamente en la cantidad de material perdido.

Por otro lado, la sub-causas que representa la mayor culpabilidad en la disminución del rendimiento son los errores de impresión, debido a que éstos derivan en pérdida de material, y en dicha etapa se encuentran las variables independientes más propensas a ser manipulables para experimentación.

Caso contrario ocurre con medida y medio ambiente, las cuales influyen muy poco en la pérdida de material. Como anteriormente se mencionó, las condiciones de temperatura y humedad están en el rango requerido, por lo que su incidencia en el proceso es inapreciable. Para el caso de la medición, los operarios manifestaron (según entrevistas informales), que la medición de cantidades es considerada un retraso en el proceso, ya que de existir un sobrante de estos productos, no se considera pérdida de material, debido a que en ambos casos pueden ser reusados (tinta y solución fuente).

Observando más detenidamente este diagrama, el efecto de la mano de obra fue descartado, porque al contratar al personal involucrado con el proceso, se garantiza que posean un perfil calificado; además, la empresa los motiva y capacita de ser necesario.

Por el hecho de que la humedad y la temperatura estén en un rango adecuado para la materia prima, se puede considerar como un factor constante y sin incidencia directa sobre la pérdida de material. En el factor maquinaria, durante la puesta a punto de las impresoras se varían los niveles de presión en los rodillos para que se adecuen al tiraje. En la Figura 4.3 se presenta el diagrama simplificado, en donde solo se encuentra la categoría método.



**Figura 4.3 Diagrama causa-efecto simplificado para el proceso de producción en PICA.**

En la Figura 4.4 se observa más detalladamente las sub-causas involucradas en el método, siendo los errores de impresión los que poseen los factores con mayor posibilidad a manipulación; para poder jerarquizarlos, según su influencia mayoritaria en la pérdida de material, se seleccionaron las más comunes y las que influyen en la pérdida de material de acuerdo al conocimiento obtenido durante las entrevistas al personal.

Los errores de impresión más comunes son el repinte, el embotado y el engrase. El primero no es más que la transferencia de tinta de la cara frontal de una hoja a la cara posterior de otra, debido a la presión que ejerce la pila de papel sobre las primaras impresiones. El embotado se genera cuando existe exceso de tinta en la impresión, provocando pérdida de nitidez en la imagen y a su vez, se convierte en otra causa del repinte. El engrase ocurre cuando zonas no impresoras del patrón se impregnan de tinta generando manchas en la imagen final.

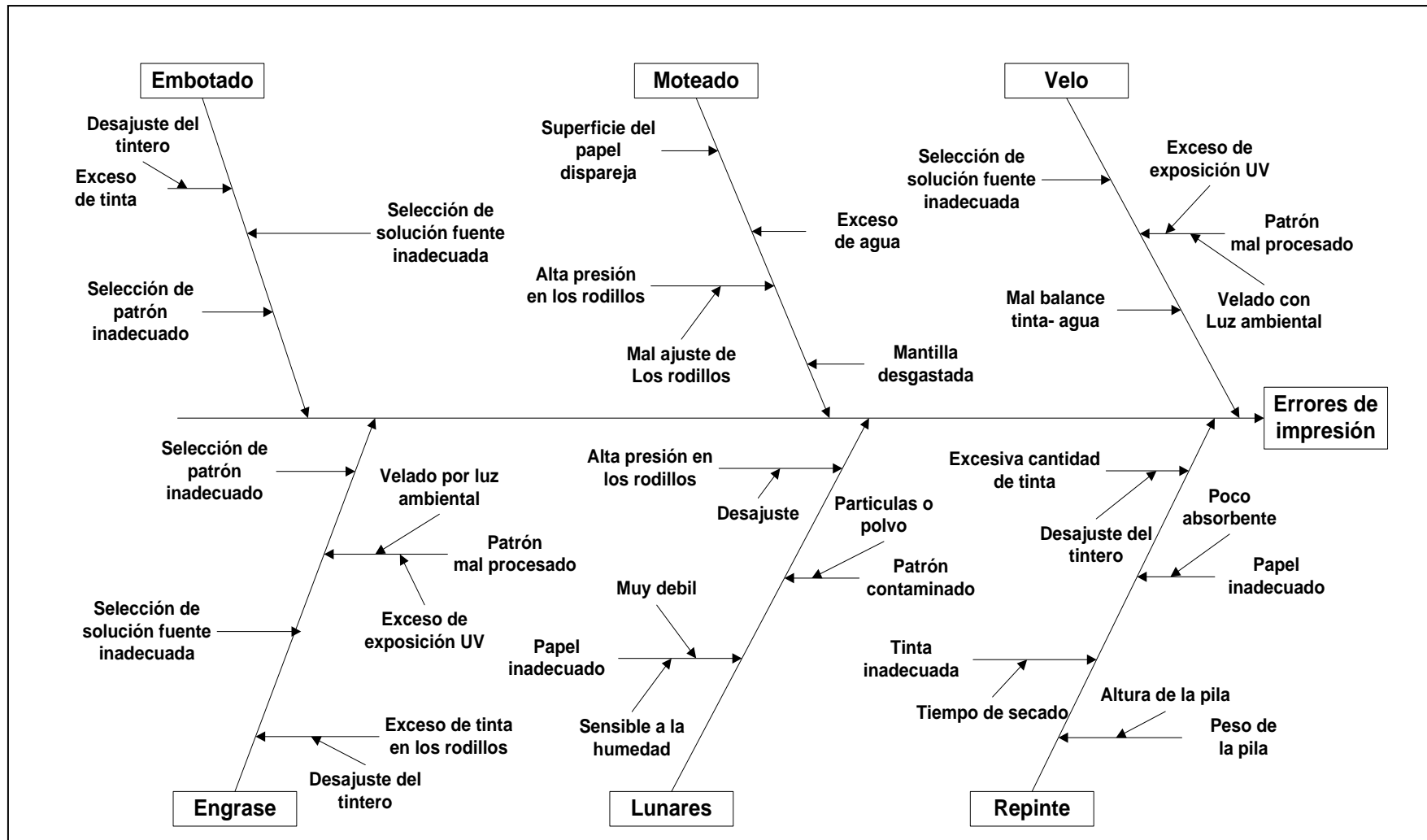


Figura 4.4 Diagrama causa-efecto de los errores de impresión.

Las variables seleccionadas fueron evaluadas a través de un diagrama de Ishikawa ponderado (ver Tabla 4.4); en este se siguió una escala del 1 al 8 (número de factores evaluados), en donde menor es el número asignado, mayor es la influencia sobre los errores de impresión.

**Tabla 4.4 Diagrama Ishikawa ponderado de los errores de impresión**

<b>Errores de impresión</b>						
<b>Sub-causas</b>	<b>Experto</b>				<b>Total</b>	<b>Concordancia (%)</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>		
<b>Exceso tinta</b>	3	3	4	3	13	75
<b>Falla de diseño</b>	4	4	6	4	18	75
<b>Exceso agua</b>	7	7	8	8	30	50
<b>Tipo de solución fuente</b>	6	2	2	2	12	75
<b>Alta presión en los rodillos</b>	1	6	3	6	16	25
<b>Plancha o máster mal procesado</b>	8	5	7	7	27	25
<b>Tipo de patrón</b>	2	1	1	1	5	75
<b>Tipo de tinta</b>	5	8	5	5	23	75
<b>Total</b>	36	36	36	36	144	36

**Experto 1 = Gerente de PICA**

**Experto 2 = Supervisor de diseño y producción**

**Experto 3 = Operario**

**Experto 4= Operario**

**C (%) = Concordancia.**

Luego de reuniones y verificación de criterios se obtuvo que las causas con mayor influencia son: el tipo de patrón, el tipo de fuente, exceso de tinta, falla de diseño y el

tipo de tinta (secado rápido y normal), ya que todas presentaron un valor de concordancia mayor del 60% [20], a diferencia, de por ejemplo, la elevada presión en los rodillos, sub- causa que obtuviera una concordancia del 25%.

Esta novedosa herramienta permite de forma sencilla, evaluar la jerarquía de las diferentes sub-causas de una problemática; tiene cierta similitud con una matriz de selección, pero se diferencia en que previamente no se evalúan características comunes para todas las sub-causas.

Adicionalmente, se procede a utilizar el coeficiente de concordancia W de Kendall (WK) como herramienta de análisis, con el fin de comprobar en forma matemática el grado de asociación o relación entre la opinión de los expertos. El coeficiente W calcula la suma de los rangos para cada variable, y su valor oscila entre 0 (no concordancia) y 1 (concordancia completa).[18]

El WK resultó ser 0,7202; después de hallado WK, se necesita determinar si el valor alcanzado es significativamente diferente de 0, calculando el estadígrafo  $\chi^2$  (chi-cuadrado), para concluir si se rechaza o se acepta la hipótesis nula  $H_0$ , en donde:

$H_0$ : No hay concordancia de criterios

$H_1$ : Hay concordancia de criterios

Para el WK calculado el  $\chi^2 = 20,1667$ ; para 7 grados de libertad y un nivel de confianza de 95 %, se obtiene un  $\chi^2 = 14,067$  (ver Tabla B.1); por lo tanto, se rechaza  $H_0$  y se concluye que hay concordancia de criterios.

Se implementó este estadígrafo debido a que al medir directamente la variabilidad de los datos, indica de forma certera la dispersión de los valores, cuestión que no se lograría contrastando medias (ver marco teórico).

### **4.3 Estructuración un diseño experimental que permita conocer el comportamiento de los factores más influyentes en el proceso de producción de PICA.**

Tomando en cuenta que todo proceso tiene muchas variables involucradas en su desarrollo y que éstas determinan su comportamiento, es de saber que algunas de ellas se convierten en limitantes a la hora de evaluar en forma experimental un proceso. También es sabido, que no todos los factores que actúan en un proceso influyen con igual importancia, y que no todos presentan facilidad a la hora de modificar sus condiciones.

De las causas más influyentes en PICA, la que posee factores susceptibles a variación experimental, es el método, específicamente errores de impresión. Allí se vinculan sub-causas como exceso tinta, falla de diseño, tipo de solución fuente, tinta de secado rápido o no, uso de máster o plancha de impresión, entre otras. Estas sub-causas se comportan como variables independientes, porque son las que influyen sobre la característica que se mide.

El rendimiento de impresión se identificó como la variable dependiente del proceso y al querer evaluar cuál es el efecto de las variables independientes y sus interacciones sobre dicha variable, se recurrió entonces a un diseño experimental factorial, ya que permite identificar con rapidez y de manera eficiente el subconjunto de factores que son activos, y la interacción de varios factores sobre una o varias respuestas. Específicamente, el diseño o arreglo factorial, se define como el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores.

Entre las ventajas que tiene este tipo de diseño de experimentos está en que permiten estimar los efectos de un factor en diversos niveles de los otros factores, produciendo conclusiones que son válidas sobre toda la extensión de las condiciones experimentales.



Los diseños factoriales son el punto de partida para diseños robustos, los cuales persiguen, entre otros, la optimización de procesos (o característica de calidad) mediante la manipulación de variables cuantitativas. Para el caso en estudio, las variables independientes son cualitativas con niveles fijos (establecidos por los experimentadores), y el objetivo general es generar propuestas de mejora; es por ello que se descarta el uso de una metodología robusta y de optimización. Otro tipo de diseño que se estudió fue el de comparación de tratamientos, en el que se plantean hipótesis a la igualdad o desigualdad de los tratamientos; es decir, lo que interesa investigar es su diferencia, por tanto se descarta su implementación.

Vale la pena destacar que existen aspectos con mayor influencia en la selección de un diseño experimental, en el sentido que, cuando cambian obligan generalmente a modificar de diseño y deben ser tomados en cuenta como un conjunto:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a controlar.
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa estudiar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

Con la finalidad de investigar cuáles efectos están activos o son significativos para el caso de estudio, es preciso generar dos hipótesis:

$H_0$ : No hay efecto significativo sobre la respuesta. Efecto  $i = 0$

$H_1$ : Hay efecto significativo sobre la respuesta. Efecto  $i \neq 0$

La colección de datos bajo un diseño experimental implica un proceso de control por parte del investigador, con la finalidad de asociar datos a condiciones experimentales. El objetivo es determinar la relación causa – efecto.

Como se mencionó anteriormente, la necesidad de poner a punto la máquina, evita que se deba seleccionar un número de réplicas elevado para disminuir los errores

experimentales. Se decide realizar dos repeticiones aleatorias, variando de uno en uno los niveles de cada factor.

#### **4.4 Establecimiento de los factores de control y los niveles por factor de las variables más influyentes del proceso**

Según la revisión bibliográfica, una solución fuente mal seleccionada influye negativamente en la obtención de un trabajo prolijo [9]. El equilibrio agua-tinta también ha de ser cuidado, ya que pequeñas variaciones en él, ocasionarían defectos en el producto que de inmediato son considerados pérdidas, por ejemplo el velo y el repinte.

A partir de la observación del proceso, el diagrama causa-efecto y el diagrama ponderado, se detectó que existen cinco factores que influyen en pérdidas por errores de impresión; estos son, el tipo de patrón, el tipo de fuente, el tipo de tinta, el exceso de tinta y falla de diseño.

Se procedió entonces a clasificar estos factores de diseño, con el fin de disminuir los posibles errores. Para el caso del exceso de tinta, su nivel puede ser modificado, pero debe ser controlado y no sujeto a manipulación, ya que es ajustado para cada tipo de trabajo, incluso durante el proceso y en la puesta a punto de la máquina; es decir, experimentar con dicho factor causaría desviaciones que no se presentan durante el proceso de impresión (factor perturbador) Caso similar ocurre con la presión en los rodillos de la máquina (ver Figura B.1).

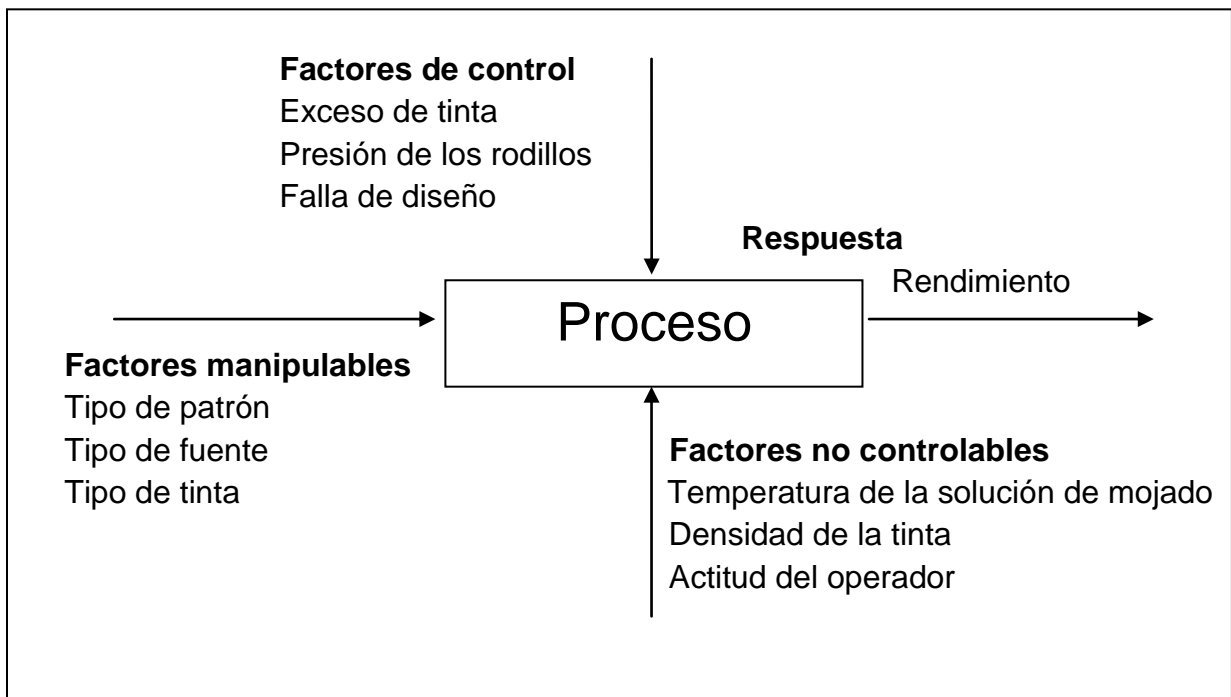
En cuanto a las fallas de diseño, éstas se consideran como un factor constante, debido a que para efectos del experimento, se selecciona un arte específico y se verifica su creación y el proceso de plasmarlo sobre un patrón de manera correcta.

Por su parte el tipo de patrón es un factor que se puede manipular usando plancha o máster. De igual forma el tipo de fuente, ya que hay dos tipos y cumplen la misma

función. Para el caso del tipo de tinta ocurre lo mismo; es posible experimentar con una de secado rápido y compararla con la de secado normal.

Vale la pena resaltar el hecho que, gracias a la revisión bibliográfica, se sabe que influyen una cantidad de factores perturbadores no controlables como, la temperatura de la solución de mojado, la densidad de la tinta, incluso se podría mencionar la actitud del operario al momento de realizar el experimento.

Gracias a este análisis se decide por un experimento de tres factores a dos niveles cada uno, generándose entonces un diseño factorial  $2^3$ , en donde cada factor posee dos niveles, uno bajo y uno alto. No se usa un diseño factorial fraccionado, ya que el número de factores y niveles es pequeño. En la Figura 4.5 se observa un diagrama de la clasificación de los factores.



**Figura 4.5 Segregación de los factores del proceso de impresión**

**Tabla 4.5 Factores y niveles por factor del DOE**

Factor	Niveles por factor	
	Bajo	Alto
Tinta	Normal	Secado rápido
Fuente	Etching	Azul
Patrón	Máster	Plancha

Toda experimentación requiere una respuesta mensurable a fin de poder llevar a cabo el tratamiento matemático adecuado que permita alcanzar la solución del problema. Tomando en cuenta las especificaciones y comportamiento del proceso, el rendimiento refleja más el cumplimiento con los requerimientos de procesabilidad, ya que se relaciona con la pérdida de material. La matriz de diseño del experimento se puede observar en la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6 Matriz del diseño experimental 2<sup>3</sup>**

Tratamientos	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
(1)	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
(a)	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
(b)	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
(ab)	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
(c)	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
(ac)	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
(bc)	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
(abc)	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

#### 4.5 Análisis del comportamiento de los factores más influyentes del proceso y propuesta de alternativas de mejora en la línea de producción.

El experimento se llevó a cabo en una impresora Offset con un solo cuerpo de impresión (ver Figura B.1), el color seleccionado fue el negro, debido a que la mayoría de los trabajos se solicitan en dicho color. Luego de la puesta a punto de la máquina (lo que permitió controlar factores como el exceso de tinta), se procedió a dejar pasar cincuenta hojas por cada tratamiento, a la vez que se manipulaban los factores seleccionados para experimentación.

En la Tabla 4.7 se pueden observar los factores seleccionados y sus niveles, de lo cual se generan ocho combinaciones y el rendimiento obtenido en cada corrida.

**Tabla 4.7 Rendimientos obtenidos en cada corrida para cada tratamiento**

Patrón	Fuente	RENDIMIENTO (%)			
		Tinta			
		Normal		Secado rápido	
Plancha	Fuente azul	88	96	76	80
	Etching	84	92	68	72
Máster	Fuente azul	48	48	52	48
	Etching	44	36	60	52

Con la finalidad de investigar cuáles efectos están activos o son significativos para el caso de estudio, es preciso probar las hipótesis de interés mediante un análisis de varianza (ANOVA); dichas hipótesis se plantean a continuación:

$H_0$ : No hay efecto significativo sobre el rendimiento. Efecto  $i = 0$

$H_1$ : Hay efecto significativo sobre el rendimiento. Efecto  $i \neq 0$

Para todo “i” correspondiente a los factores A, B, C y sus interacciones AB, AC, BC, ABC.

MINITAB es un programa de análisis estadístico de ambiente muy intuitivo y de fácil manipulación. Posee herramientas para evaluar diseño de experimentos, cuyas siglas en inglés son DOE. Una vez aplicado el programa estadístico MINITAB se obtiene el análisis de varianza cuyos resultados se muestran en Tabla 4.8, en donde se pueden observar los grados de libertad (GL); la suma de los cuadrados (SC); media de los cuadrados (MC), factor de Fischer (F) y nivel de significación (P) y los coeficientes para la construcción de un modelo lineal para la variable de respuesta. Al observar los resultados de los efectos de la Tabla 4.8, se pudo verificar que los valores de los efectos presentaron signos positivos y negativos, lo cual expresa que algunos factores afectan de forma favorable a la variable respuesta, mientras que otros lo hacen de manera contraria.[28]

El factor con mayor efecto en el rendimiento es el tipo de patrón empleado (Efecto=33,5), hecho que se corrobora con un p-value= 0,000; y la interacción tinta-fuente (p-value=0,000). El valor p, debe ser menor que  $\alpha = 0,05$  para que se rechace  $H_0$ , alfa es el riesgo máximo que se está dispuesto a correr en caso de rechazar la hipótesis nula planteada; por lo tanto, para rechazarla se debe cumplir  $p\text{-value} \leq \alpha$ . [17] [21] [28]

Para el tipo de tinta y fuente, cuyos valores de significación son mayores que alfa, se acepta la hipótesis nula, resultando ser poco incidentes sobre el rendimiento.

El factor de Fisher por su parte, contrasta las medias de los distintos niveles de cada factor (se contrasta si los efectos individuales de cada factor respecto a la respuesta son significativos) y para el contraste de la existencia de interacción entre factores. Mientras mayor es el valor experimental con respecto a uno, la relevancia en el cambio de la respuesta, es debida a los cambios en las variables independientes y no a factores de ruido (aquellos que son causantes de errores experimentales).

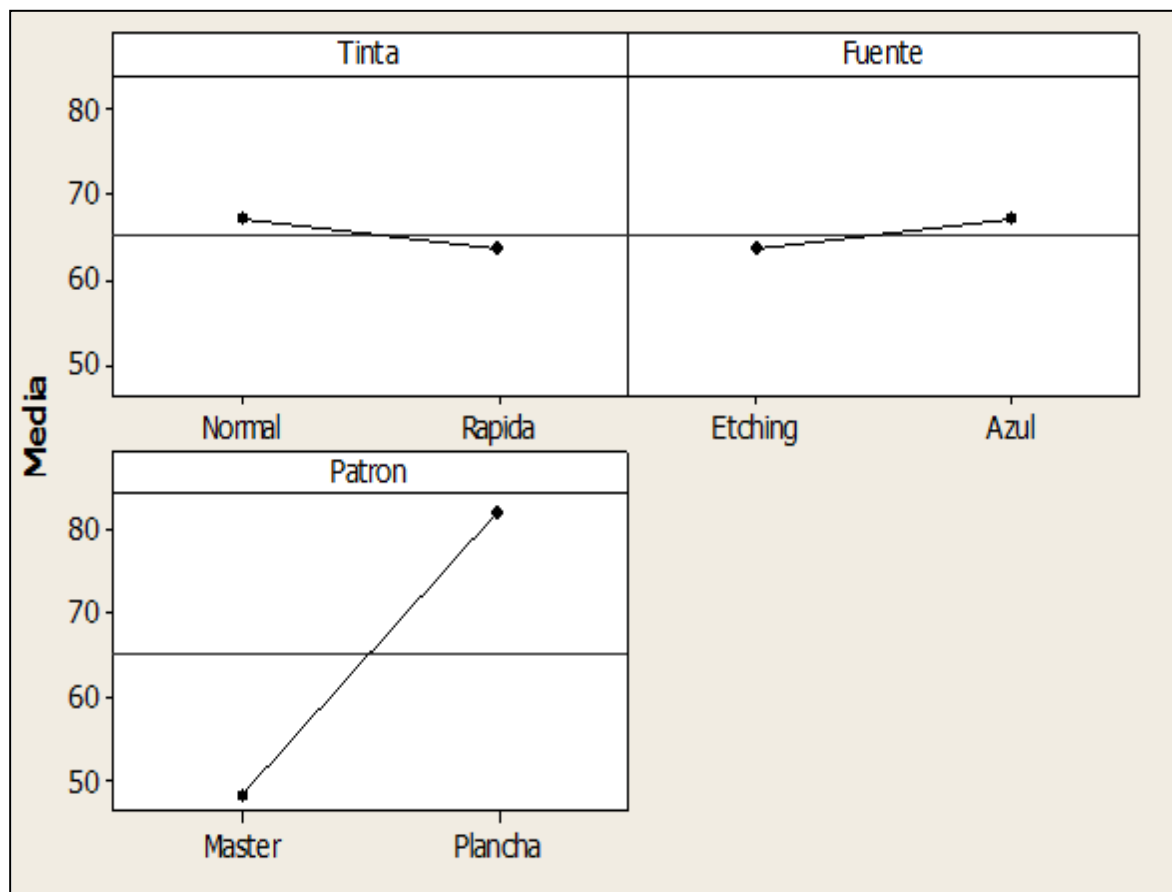
**Tabla 4.8 Análisis de varianza del diseño de experimento**

<b>Ajuste factorial: Rendimiento vs. Tinta; Fuente; Patron</b>					
Efectos y coeficientes estimados para Rendimiento (unidades codificadas)					
Término	Efecto	Coef	Coef. de EE	T	P
Constante		65,250	1,090	59,88	0,000
Tinta	-3,500	-1,750	1,090	-1,61	0,147
Fuente	3,500	1,750	1,090	1,61	0,147
Patron	33,500	16,750	1,090	15,37	0,000
Tinta*Fuente	-2,500	-1,250	1,090	-1,15	0,284
Tinta*Patron	-12,500	-6,250	1,090	-5,74	0,000
Fuente*Patron	2,500	1,250	1,090	1,15	0,284
Tinta*Fuente*Patron	4,500	2,250	1,090	2,06	0,073

S = 4,35890      PRESS = 608  
R-cuad. = 97,23%      R-cuad. (pred.) = 88,94%      R-cuad. (ajustado) = 94,81%

Análisis de varianza para Rendimiento (unidades codificadas)					
Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F
Efectos principales	3	4587,00	4587,00	1529,00	80,47
2-Interacciones de (No.) factores	3	675,00	675,00	225,00	11,84
3-Interacciones de (No.) factores	1	81,00	81,00	81,00	4,26
Error residual	8	152,00	152,00	19,00	
Error puro	8	152,00	152,00	19,00	
Total	15	5495,00			

Es así como al observar el factor de contraste F para los efectos principales y para las interacciones ( $F_p = 80,47$  y  $F_i = 11,84$ ), se nota claramente que la influencia mayoritaria en el cambio del rendimiento es debida a los efectos que genera el cambio de patrón (siendo éste el efecto principal). La validez de estos resultados solo se aceptará si se asegura un 95 % o más de confiabilidad. Al determinar el estadístico de Fischer teórico, según la Figura B.2 del Apéndice C, se obtuvo un valor teórico igual a (5,318); de tal manera que para los casos en que el factor de Fischer experimental sea igual o mayor al teórico, las variables independientes son, con un 95% de probabilidad las más influyentes sobre los valores tomados por la variable dependiente.[17][28]



**Figura 4.6 Efectos principales de los factores**

El efecto del factor tinta no influye sobre el rendimiento de forma significativa ( $p\text{-value} = 0,147$ ); esto puede ser verificado observando las gráficas de los efectos principales (ver Figura 4.6). A mayor pendiente mayor incidencia sobre la variable de respuesta [16]. Para el caso del tipo de patrón la pendiente es mayor, mientras que para el tipo de tinta la pendiente es mucho menor que las demás, de forma tal que se puede descartar su influencia directa en el rendimiento del proceso.

Por otro lado al graficar las interacciones entre los factores, se obtuvo que la incidencia fuente-patrón (ver Figura 4.7) es muy poca, debido a que sus pendientes presenta un valor similar. Caso opuesto ocurre con las interacciones tinta-patrón (ver Figura 4.8), en donde la diferencia entre las pendientes es más marcada.



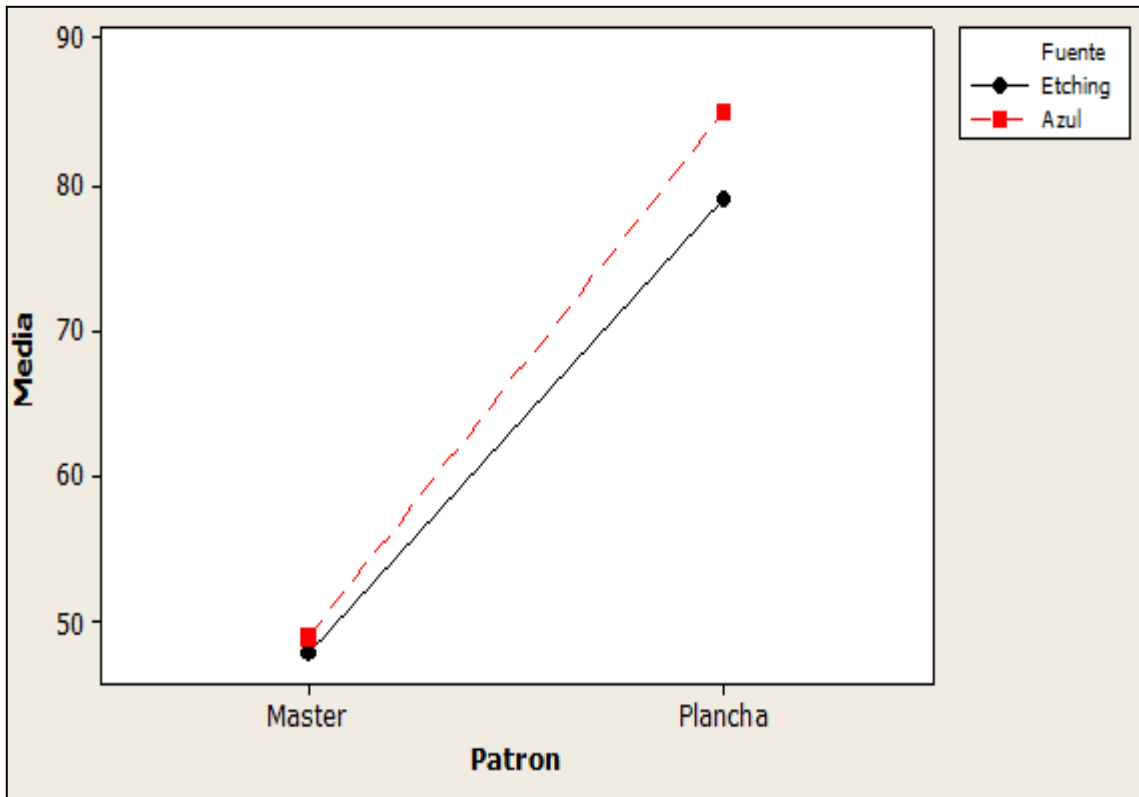


Figura 4.7 Interacción fuente-patrón

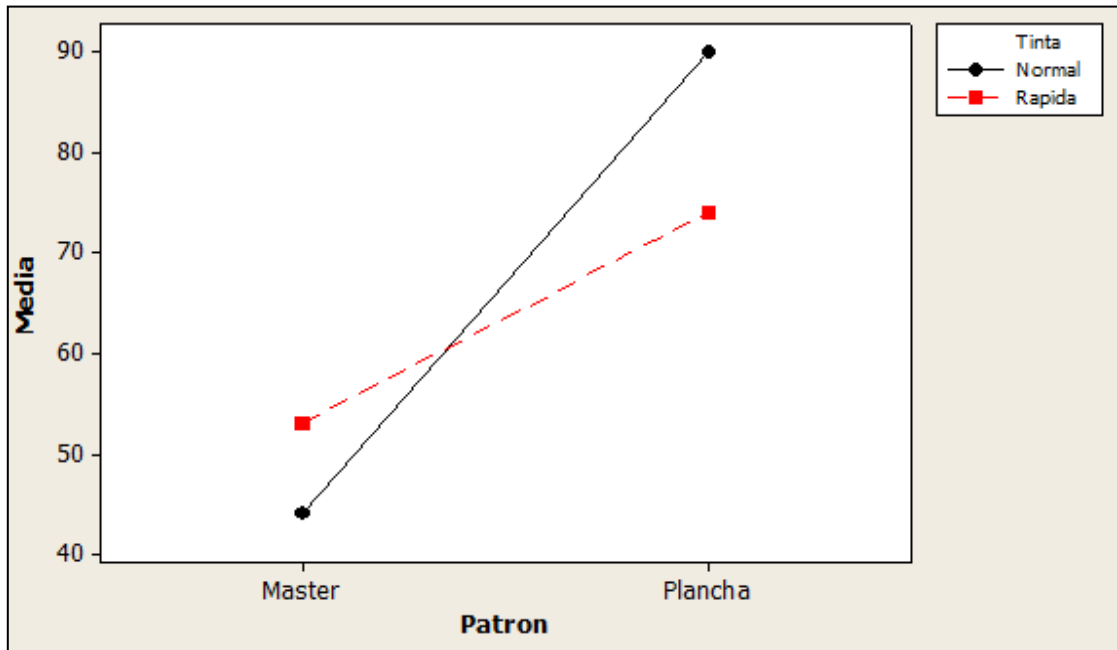
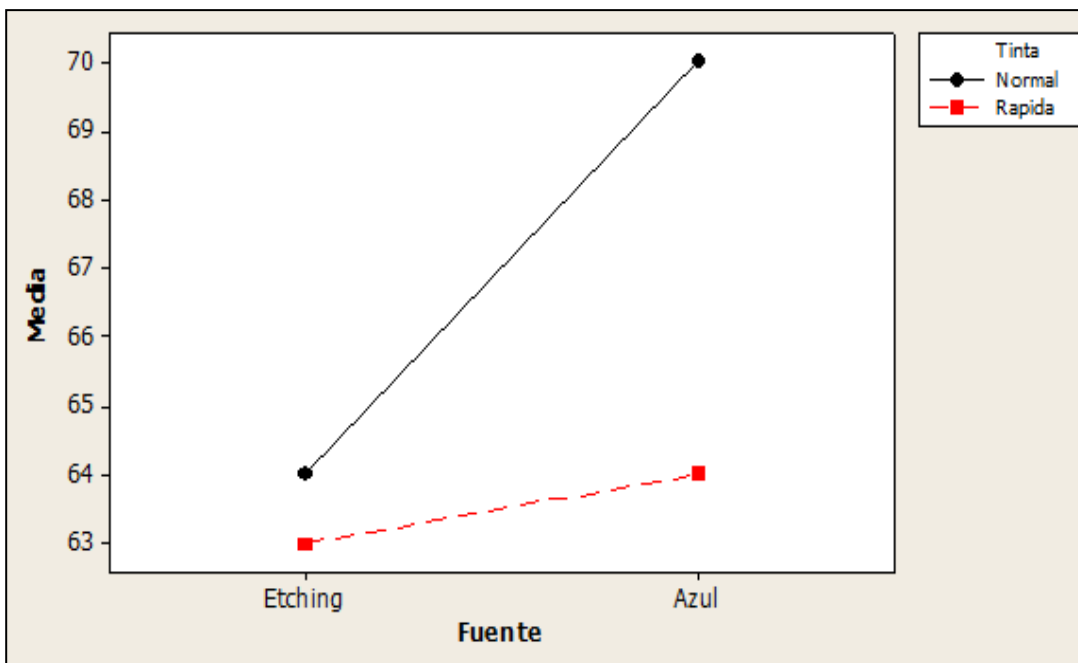


Figura 4.8 Interacción tinta-patrón

Haciéndose un estudio más minucioso en cada grafica de interacción, es posible conocer información más específica del comportamiento de la variable de respuesta. La interacción fuente- patrón (ver Figura 4.7) es muy particular, ya que la variación del tipo de tinta ocasionan un efecto tan similar sobre la variable de respuesta, cuando el de patrón cambia de su nivel bajo a su nivel alto; este hecho indica que la interacción no es significativa.

En el caso de la interacción tinta-patrón (ver Figura 4.8), ambos niveles de tinta ocasionan un aumento en la variable de respuesta, notándose de manera más significativa cuando se usó tinta normal y el patrón pasó de máster a plancha, lo mismo se observó cuando se usó tinta rápida pero esta vez en menor proporción.

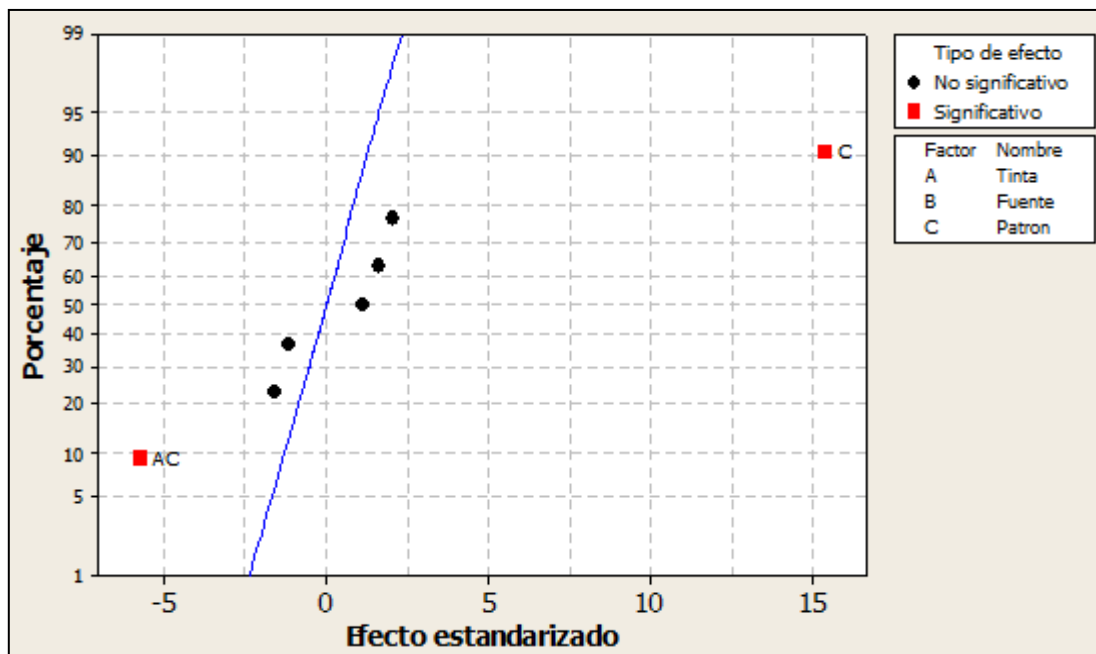
Observado la interacción tinta- fuente (ver Figura 4.9), se puede ver que cuando se usó tinta normal hubo un aumento significativo en la variable de respuesta, cuando se cambió la fuente de su nivel bajo al nivel más alto. De igual forma ocurrió con el uso de tinta de secado rápido, en donde se observó un leve aumento en el rendimiento.



**Figura 4.9 Interacción tinta-fuente**

Finalmente se puede tener una idea del rendimiento del proceso, lográndose una respuesta mayor cuando se usa el patrón plancha y tinta normal, interacción en la que se obtiene más de un 90% de rendimiento, seguido de la interacción de patrón plancha y fuente etching, donde se obtiene más de 80%. En cuanto a la interacción tinta-fuente, el mejor resultado fue con tinta normal y fuente azul obteniendo hasta un 70%.

Para observar los efectos más significativos se emplea el gráfico de Daniel. En esta grafica normal de los efectos, aquellos puntos que se alejen de la tendencia serán los más significativos en la variable de respuesta [28] [29]. Los efectos inactivos tienden a ser más pequeños y centrados alrededor de cero, la media de todos los efectos.

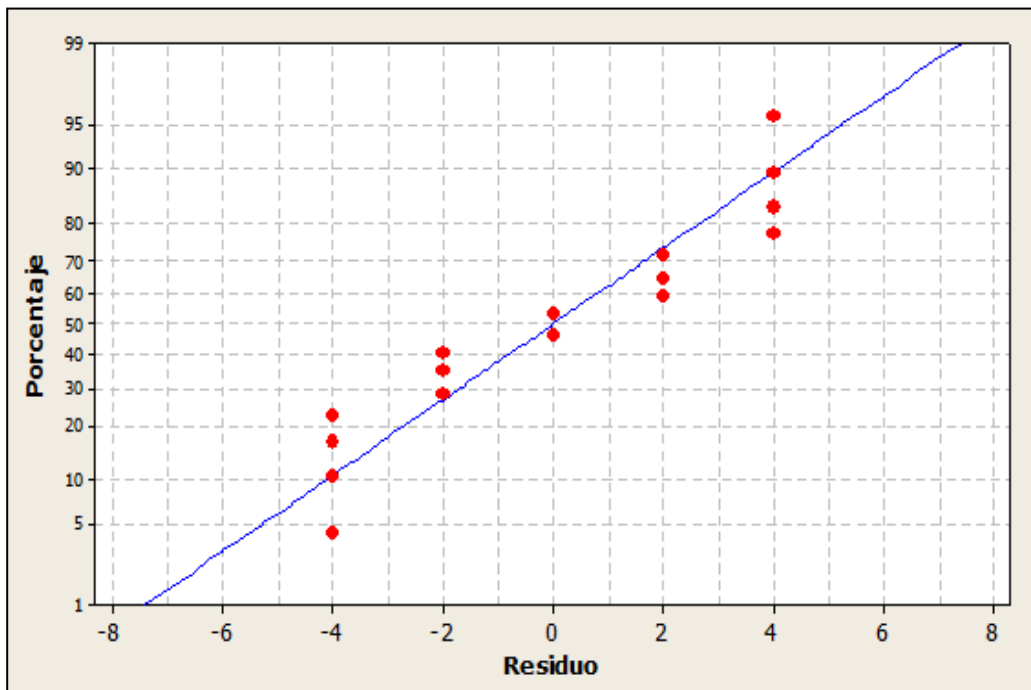


**Figura 4.10 Gráfico de Daniel**

El estudio de los residuos mediante el análisis gráfico permite ver si los supuestos de análisis de varianzas son verdaderos; estos son, la independencia de los errores, la distribución normal de los errores y la homogeneidad de las varianzas de los tratamientos. [15][28]

En la Figura 4.11 se verifica el supuesto de distribución normal de los errores, ya que mientras más cerca se encuentren los puntos a la tendencia central, describen mejor el comportamiento de los datos.

El supuesto de independencia de errores, se observa por medio de la Figura 4.12, donde se grafican los residuos en función del orden con que se tomaron los datos y permite observar la correlación de residuos. En el mismo no se evidencia tendencias crecientes o decrecientes, por lo que puede suponerse independencia entre ellos.



**Figura 4.11 Distribución normal de los errores**

La homogeneidad de las varianzas, se verifica graficando los residuos con respecto a los valores medios de los niveles de cada factor, como se puede apreciar en la Figura 4.13. Dicho gráfico muestra un comportamiento similar para todos los niveles, lo que permite concluir que las varianzas son constantes, por lo que su análisis para el diseño factorial  $2^3$  tienen validez. [14] [16] [17]

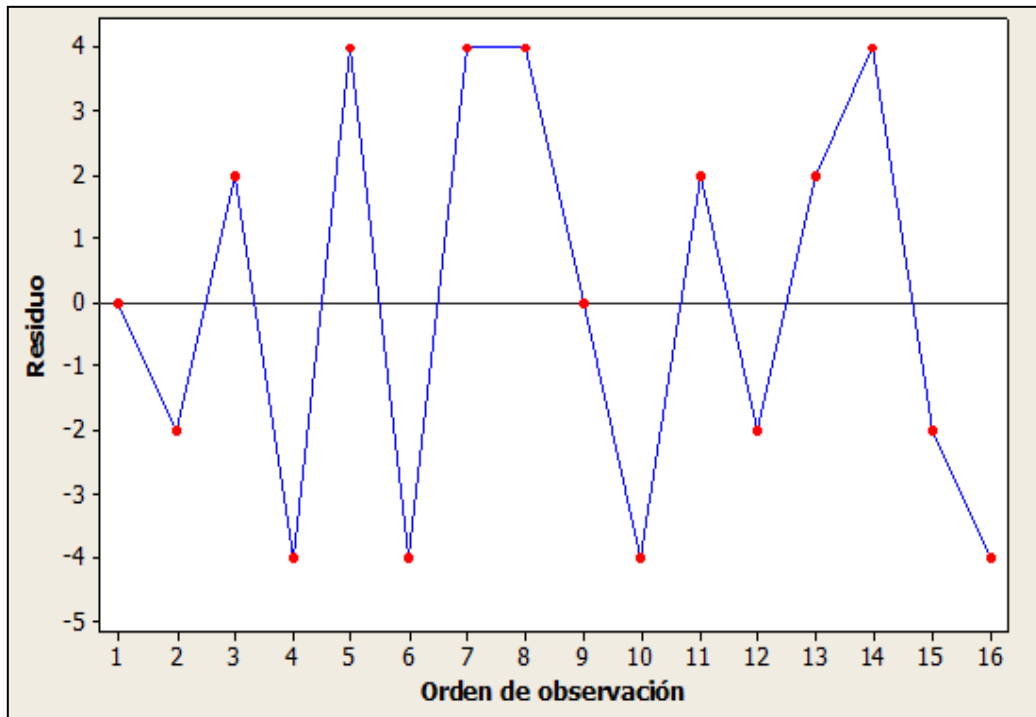


Figura 4.12 Aleatoriedad de los datos

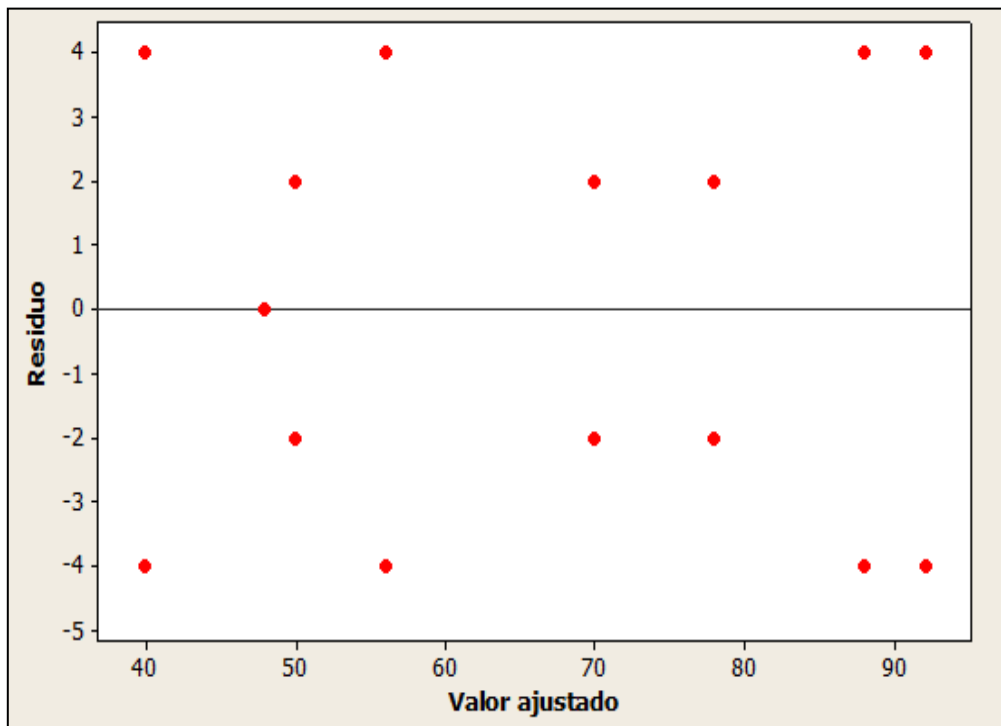


Figura 4.13 Gráfico de evaluación de la homogeneidad de las varianzas

La influencia del patrón en el rendimiento del proceso radica principalmente en la resistencia del material, ya que las planchas están hechas de diversos materiales como aluminio, poliéster o aleaciones. La más utilizada es la de aluminio, ya que aporta ligereza y permite un anodizado (granulado) que le otorga más resistencia (el aluminio por sus propiedades dúctiles y maleables, facilita la flexibilidad de la plancha para adaptarse al cilindro porta plancha) y mejora su condición hidrófila (el óxido de aluminio posibilita la fijación de la emulsión en las zona impresora y retención del agua en la zona no impresora) [23][30]. Las áreas impresoras están hechas de un polímero fotosensible y de alta resistencia. Las áreas con imagen son oleófilas; es decir, atraen la tinta (grasa), mientras que las áreas no impresoras son oleofóbicas; es decir, que rechazan la tinta.

Los patrones tipo máster consisten en una película de polímero del tamaño necesario de impresión y se imprimen generalmente con tóner, cuyo mecanismo de fijación de la imagen sobre el patrón se basa en acción electrostática [10][30], de tal forma que así como las partículas de tóner se depositaron sobre el máster, se desprenderán de él gracias al constante desgaste causado por la rotación de los cilindros impresores.

Entonces, la resistencia al desgaste es más a largo plazo para una plancha que para un máster, ya que los mecanismos con los que se fija la imagen a éstos son diferentes. En el caso de la plancha, la solidificación del polímero que se encuentra en la superficie endurece las zonas impresoras de la plancha. De allí que se obtengan mejores valores de rendimiento al usar patrones tipo plancha, porque éstos se desgastan en el tiempo mucho más lentamente que los máster.

Los máster sufren un tratamiento térmico para fijar el tóner a su superficie, mientras se someten a presión para aumentar su fijación. Esto no es suficiente para mantenerlo adherido al máster durante la impresión, por lo que se vuelve a someter el patrón a altas temperaturas, para lograrlo.

Cuando se trata de artes muy cargadas de tinta, la aplicación de este segundo tratamiento térmico, desmejora la calidad del máster, llegando incluso a dañarlo, debido a que la gran cantidad de tóner en el área, implica un mayor calentamiento de las partículas que pueden llegar a quemar el máster, por lo que nuevamente la plancha sigue siendo la mejor opción para este tipo de trabajos.

Por otro lado, la interacción tinta- patrón, en teoría no debería influir de forma significativa en el rendimiento del proceso [22][23], debido a que el uso de un tipo de tinta o de otro, dependerá del trabajo a realizar; trabajos de varios colores requerirán tiempos de secado más cortos, para poder depositar en el papel el siguiente color sin ocasionar errores de repintado. Adicionalmente la presencia de agentes secantes en una u otra no afectan las características cromáticas de la tinta. La interacción encontrada puede explicarse basándose en los factores de ruido, entre ellos se puede mencionar para el caso de la tinta: diferentes estándares de calidad utilizados por cada proveedor, mala distribución de la tinta en los rodillos que pudieron ocasionar que algunas zonas del papel recibieran más tinta, variación en la viscosidad de la tinta provocada por el aumento de la temperatura, debido al giro constante de los rodillos. Para el caso del patrón, una plancha mal emulsificada, provocaría que la tinta no se adhiera de forma correcta ocasionando más problemas de impresión.

Las tintas de secado normal no poseen un componente activo de secado; éstas se secan por absorción y oxidación por contacto con oxígeno contenido en el aire, mientras que las de secado rápido contienen componentes activos como cobalto, circonio y manganeso, quienes disminuyen el tiempo de secado. [31]

Vale la pena destacar que el equilibrio tinta-fuente es primordial para que una impresión sea exitosa; es por ello que, en teoría, la interacción entre dichos factores se considera significativa, a pesar que experimentalmente este hecho no se observó. El área de la imagen de la plancha es receptiva a la tinta, y aquella donde no hay imagen es receptiva a la solución fuente. El área de la imagen tiene baja energía superficial, por lo que el agua se mueve fácilmente, sin adherirse. [9][22][23]

Una solución de mojado debería tener pH comprendido entre 4,5 y 5,5; sin embargo, dependiendo de los componentes de la tinta, se requerirá un medio alcalino para obtener una buena impresión [9] [32]. Al medir el pH del etching, se observó que éste presenta un valor de 5,67; haciéndolo ácido. De allí que al imprimir etching se obtuviera menor rendimiento que con fuente azul. Esto se debe a que las soluciones fuente ácidas perturban el balance tinta-fuente, provocando en las tintas dificultades de secado, debido a que los ácidos impiden la oxidación e incluso atacan los pigmentos produciendo errores de tono.

Una vez analizado el resultado del experimento, se procede a plantear la siguiente propuesta que contiene un conjunto de alternativas que se adaptan a los resultados obtenidos y que tienen como finalidad proporcionar las herramientas para disminuir el efecto de los factores estudiados, en el rendimiento:

- 1) Establecimiento de una mejor distribución del área de producción: la elaboración de un Plot Plan, que permita conocer el estado actual de las etapas, ubicación de los equipos, objetos en desuso, entre otros.
  
- 2) Seguimiento y aseguramiento de la calidad del material a lo largo de todas las etapas del proceso. Nombrar para ello a un encargado que supervise los factores más importantes a la salida de cada etapa, verificando y llevando un registro de factores como:
  - a) Concordancia del patrón con el arte inicial
  - b) Número y tipo de orden
  - c) Tipo de papel requerido
  - d) Número de copias necesarias
  - e) Ganancia de punto
  - f) Nitidez de la imagen
  - g) Variación del color
  - h) Angulaciones de las tramas



Con esto se garantizaría un menor porcentaje de pérdidas en todas las etapas del proceso, ya que al determinarse la presencia de un error en cualquier etapa, éste se corregiría de inmediato.

- 3) Elaboración de un manual del impresor, con ayuda de los operarios, en donde se presenten los errores más comunes de impresión, con sus posibles soluciones, y así disminuir la posibilidad de pérdida de material.
- 4) Elaboración de una carta generalizada que contenga variedad de tipos de trabajos (los que generalmente se soliciten en mayor volumen), con instrucciones sobre qué tipo de patrón, fuente y tinta usar, ya que éstos fueron los más influyentes en la etapa de impresión, y por lo tanto en el rendimiento del proceso.
- 5) Utilizar instrumentos de medida para el suministro de fuente y tinta, buscando mantener una proporción adecuada; al mantenerla se estarían eliminando los efectos de factores de ruido como exceso de tinta y/o fuente.
- 6) Trabajar en conjunto con un laboratorio, donde se analicen muestras de tinta, agua y fuente, determinándose las características físico-químicas de tales sustancias, logrando así un mayor entendimiento de su comportamiento a lo largo del proceso y su posible tratamiento como factores de control.
- 7) Planificar la certificación mediante la norma ISO 12647-2 de las artes gráficas, sección offset; para mejorar la calidad de la producción gráfica y estandarizar el proceso. Con un estándar se podrá predecir y controlar los factores más influyentes y esto traería como consecuencia un rendimiento superior.
- 8) Para trabajos que requieran de muchos colores, alta calidad de imagen y que sobrepasen las 5000 hojas, se debe usar patrón plancha, fuente azul y tinta normal.

- 9) Para trabajos que requieran poca combinación de colores, mayor cantidad de texto que de imágenes y se necesiten menos de 5000 hojas, se debe usar patrón máster, fuente azul y tinta normal.

#### 4.6 Evaluación del beneficio asociado a la propuesta planteada.

Existe un beneficio asociado a la propuesta planteada, que representa una disminución en la pérdida tanto de materia prima como en insumos de impresión, disminuyendo también el tiempo dedicado a la impresión de una orden específica. De acuerdo a los resultados obtenidos, que se muestran en la Figura 4.14, el mayor rendimiento se obtiene cuando se usa patrón plancha, fuente azul y tinta normal, pero la combinación de los factores que proporcionan mayor rendimiento no es la opción más económica, por lo que el uso de patrón máster, fuente azul (ver Figura B.2) y tinta normal es la opción más económica, principalmente por el costo del patrón.

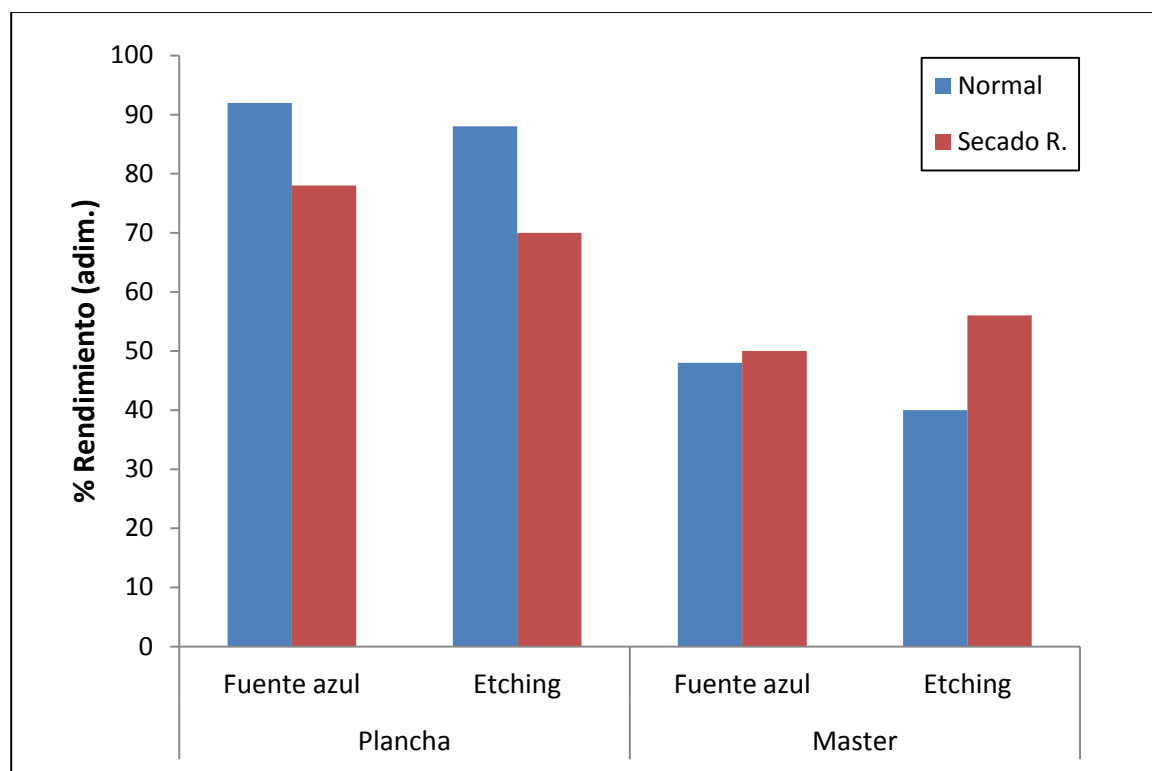


Figura 4.14 Rendimientos obtenidos del experimento

La selección de la combinación apropiada va a depender del tipo de trabajo, de la complejidad del diseño y de la finalidad del producto que se desee imprimir. Un trabajo de más de 5000 hojas y un diseño con fondos a diferentes tonos requerirá un patrón más resistente, por lo que la combinación que proporciona el mejor rendimiento será la adecuada para llevar a cabo este trabajo. Si por el contrario, el trabajo es menor de 5000 hojas y un diseño basado en textos con pocas imágenes, entonces la opción más económica será la más adecuada para este tipo trabajo.

El principal beneficio derivado de la posible implementación de las alternativas planteadas radica en la disminución del papel impreso perdido en la etapa estudiada, teniendo en cuenta que para llevar a cabo la elaboración de un pliego de papel fue necesario consumir otras materias primas como tinta y fuente. Sabiendo esto, es posible asegurar que para trabajos que demandan alta calidad, ya sea por su uso final o por su diseño, se estima que la pérdida de material disminuya un 44% usando la combinación que genera mayor rendimiento en lugar de la combinación más económica, debido principalmente a las propiedades físicas y químicas antes mencionadas del patrón plancha.

## CONCLUSIONES

- 1) Para asegurar la calidad de todos los productos antes mencionados y evitar que en su proceso de creación se produzcan pérdidas, es de vital importancia comprobar la calidad de las materias primas con las que se elaborará.
- 2) Mediante observación fue posible verificar que algunos sustratos no son almacenados de la mejor forma, presentando ondulaciones en su superficie, que se convierten a la final en pérdidas de material, debido a que un sustrato con dicha anomalía desemboca en una mala impresión.
- 3) La sub-causa más influyente en la disminución del rendimiento son los errores de impresión, debido a que éstos derivan en pérdida de material.
- 4) Con un 75% de concordancia las sub-causas más influyentes en los errores de impresión fueron: el exceso de tinta, el tipo de tinta, el tipo de patrón, el tipo de fuente y las fallas de diseño.
- 5) Se comprobó la concordancia de las opiniones de los expertos, en el diagrama de Ishikawa, obteniéndose un  $\chi^2 = 18,417$  experimental y para un 95 % de confianza  $\chi^2 = 14,067$ .
- 6) El rendimiento de impresión se identificó como la variable dependiente del proceso, y al querer evaluar cuál es el efecto de las variables independientes seleccionadas, se recurrió a un diseño experimental factorial, ya que permite observar tanto la influencia de cada una de las variables en el proceso, como la interacción entre ellas.
- 7) Como factores de control se seleccionó el exceso de tinta, presión de los rodillos y falla de diseño.

- 8) Los factores no controlables fueron la temperatura de la solución de mojado, la actitud del operario y la densidad de la tinta.
- 9) Se verificó la homogeneidad de las varianzas, graficando los residuos en función de los valores medios de los niveles de cada factor, mostrándose un comportamiento similar para todos los niveles, por lo que el análisis de resultados de varianzas para el diseño factorial  $2^3$  tienen validez.
- 10) El supuesto de independencia de errores, se pudo verificar graficando los residuos con respecto al orden con que se tomaron los datos, evidenciándose la ausencia de tendencias crecientes o decrecientes, por lo que puede suponerse independencia entre ellos.
- 11) El factor con mayor efecto en el rendimiento es el tipo de patrón empleado, hecho que se corrobora con un p-value= 0,000; el cual al ser menor que 0,05 verifica la influencia de dicho factor en la respuesta.
- 12) La influencia del tipo de patrón en el rendimiento del proceso radica principalmente en la resistencia del material, ya que las planchas están hechas de diversos materiales como aluminio, poliéster o de aleaciones de metales.
- 13) Cuando se trata de artes muy cargadas de tinta, la aplicación de un segundo tratamiento térmico, desmejora la calidad del máster, llegando incluso a dañarlo.
- 14) Para el tipo de tinta, la pendiente es mucho menor que las demás, de forma tal que se puede descartar su influencia directa en el rendimiento del proceso.
- 15) El mayor rendimiento se observó cuando se usó el patrón tipo plancha, fuente azul y tinta normal, combinación en la que se obtuvo un 96% de rendimiento, seguido de la combinación de patrón tipo plancha, tinta normal y fuente etching, con 92% de rendimiento.

- 16) La interacción patrón- tinta, teóricamente no debería influir de forma significativa en el rendimiento del proceso; la encontrada en el experimento puede explicarse basándose en los factores no controlables.
- 17) La combinación de patrón tipo máster, fuente azul y tinta normal, es la combinación de factores más económica.
- 18) Se logra disminuir en un 44% la pérdida de material, usando la combinación que genera mejor rendimiento en lugar de la combinación más económica.
- 19) Una de las alternativas más importantes es la de trabajar con un laboratorio, lo cual incrementará el número de factores de control y por ende disminuirá los de ruido, aumentando así el rendimiento.
- 20) La propuesta contiene alternativas que por sí solas pueden hacer la diferencia en el rendimiento del proceso. En general aumentar el control de los factores, detección temprana de los errores y conocimiento de las propiedades físico-químicas, serían las que requieren aplicación inmediata.

### **RECOMENDACIONES**

- 1) Uso obligatorio de mascarilla y lentes de seguridad, para todo aquel que labore en el área de impresión.
- 2) Dotación de un cuenta hilos a cada operario.
- 3) Incentivar el interés en los estudiantes por el amplio campo de las artes gráficas, no solo la litografía offset (plancha plana).
- 4) Desarrollar una investigación que abarque las características físico-químicas de los factores influyentes en la industria litográfica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Mecanismo de impresión offset". Documento en línea, disponible en:  
[<http://canales.elnortedecastilla.es/150aniversario2/especial/pdf/offset.pdf>]
- [2] RAMIREZ, F. (2008) "Propuesta de un modelo de auditoría aplicando ISO 9000 en el departamento de calidad de la industria litográfica Medigraf, S.A.". Trabajo de grado presentado a la Universidad de Carabobo para optar al título de de especialista técnico en calidad y productividad. Venezuela.
- [3] RÍOS, M., Pérez, A. (2002) "Mejoramiento de la línea de producción de colado salado de una industria de alimentos". Trabajo de grado presentado a la Universidad de Carabobo para optar al título de ingeniero químico. Venezuela.
- [4] MARTÍNEZ, C. (2010). "Propuesta para la implementación de la metodología de mejora 5s en una línea de producción de panes de molde". Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción la Escuela Superior Politécnica del Litoral Campus Gustavo Galindo, para optar al título de ingeniero mecánico. Ecuador.
- [5] ARVELAEZ, L. (2003) "Aplicación de un diseño experimental para la extracción de aceite de la almendra del fruto de la palma corozo (*Acrocomia aculeata*)". Trabajo de grado presentado a la Universidad de Carabobo para optar al título de licenciada en química. Venezuela.
- [6] HERNANDEZ, M. (2003). "Optimización de la procesabilidad de compuestos de goma utilizados en la fabricación de neumáticos aplicando diseño de experimentos (Metodología Taguchi)". Trabajo presentado a la Universidad de Carabobo para optar al título de licenciada en química. Venezuela.

- [7] ROMERO, A. (2011). "Propuesta para el mejoramiento de la línea de producción de conservas de corazones de palmito en una empresa agroindustrial". Trabajo presentado a la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica nacional de Quito. Ecuador.
- [8] REVOLLO, I., Suarez, J. (2009) "Propuesta para el mejoramiento de la producción en Alimentos SAS S.A. a través de la estructuración de un modelo de planeación, programación y control de la producción". Trabajo de grado presentado a la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, para obtener el título de ingeniero industrial. Colombia.
- [9] QUINTANA, R. "Postprensa (bloque especializado)". Universidad de Londres. Licenciatura en Diseño Gráfico.
- [10] QUINTANA, R. "Tecnología de los sistemas de impresión". Universidad de Londres. Licenciatura en Diseño Gráfico.
- [11] MUÑOZ, G. (2011). "Glosario de las artes gráficas". Disponible en: [<http://www.glosariografico.com/>]
- [12] "Negativos para impresión". Documento en línea disponible para consulta en: [<http://prepensafacil.com/negativos-para-impresion/offset/>]
- [13] "La Impresión offset". Disponible en línea en: [<http://dispreimferdom.wordpress.com/2011/12/09/la-impresion-offset/>]
- [14] GUTIERREZ, D. (2003) "Análisis y diseño de experimentos". Primera edición. Editorial McGraw-Hill. México.
- [15] PULIDO, H., De la Vara, R. (2009). "Control estadístico de calidad y seis sigma". Segunda edición. Editorial Mc Graw Hill. México.



- [16] MONTGOMERY, D. (2002) "Diseño y análisis de experimentos". Segunda edición. Editorial Limusa. México.
- [17] PÉREZ, C. "Control estadístico de la calidad. teoría, práctica y aplicaciones informáticas (Sas, statgraphics, minitab, spss)". (1999). Primera edición. Editorial RA-MA. Madrid.
- [18]"Análisis no paramétrico". Documento en línea, disponible en: [http://www.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D\_departamento/materiales/analisis\_datosyMultivariable/19nparam\_SPSS.pdf]
- [19] HERNANDEZ, R., Fernández, C., Baptista, P. (2003). "Metodología de la investigación". Tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. México.
- [20] CRESPO, L. (2009) "Metodología para la toma de decisiones consensuales". Documento en línea disponible en: [http://www.cimex.com.mx/]
- [21] "Diseño de experimentos". Documento en línea, disponible en: [www.fcq.uach.mx%2Findex.php%2Fdocumentos%2Fcategory%2F50-bioestadistica.html%3Fdownload%3D439%253Adiseo-de-experimentos&ei=YobiT\_\_TDIH0QHH05W6Aw&usg=AFQjCNG8gL\_-XukeBhHG996pFuTpdOfK7w]
- [22] DIAZ, D. Provisión química. "Consideraciones, detalles técnicos y sugerencias". Documento en línea, disponible en: [www.provisionquimica.com.ar]
- [23] Publicaciones técnicas del instituto tecnológico de óptica (AIDO), color e imagen, para el sector de las A.G. Números de publicación 1-3 y 14-16. Documentos disponibles en línea en: [http://www.gestiondecOLOR.com].

- [24] ULSI Technology. City University of Hong Kong. "Chapter 5: Lithography". Documento en línea, disponible para consultar en: [personal.cityu.edu.hk/~appkchu/AP4120/5.PDF]
- [25] "Caring for paper". (2007). Artículo de la colección reservada de la biblioteca pública de Nueva Gales del Sur. Documento en línea disponible en: [http://www.sl.nsw.gov.au/about/collections/docs/caringforpaper.pdf]
- [26] ROVIRA, C. "Diagrama de causa y efecto, herramientas básicas para la mejora de la calidad". Director de Op-Group. Argentina. Artículo disponible en: [http://www.op-group.net/].
- [27] TORRES, L. (2007). "Mantenimiento - su implementación y la introducción de mejoras en la producción". Primera edición. Editorial Universitas. Argentina.
- [28] GONZÁLEZ, D., Yushimito, W. "Diseño y análisis de experimentos en minitab versión 14". (2004). Segunda versión. Documento disponible en línea en: [http://academic.uprm.edu/~dgonzalez/Manual%20de%20Minitab-v14.pdf]
- [29] "Meet minitab 16, manual del usuario". (2010). Documento en línea, disponible en [http://www.minitab.com/es-US/training/user-guides.aspx]
- [30] "Forma impresora para offset: influencia de la plancha en impresión". (2010). Documento en línea, disponible en: [http://www.gestiondecOLOR.com/blog/i/24840/128/forma-impresora-para-offset-influencia-de-la-plancha-en-impresión]
- [31] CALDERON, F. "Secantes para pinturas transmitidas por agua". (2012). Sección química. Documento en línea, disponible en: [http://es.wordpress.com/?ref=footer].

[32] "Ya es posible imprimir con 0% de alcohol". Tintas & productos para artes graficas. Documento disponible en: [<http://www.colorbar.es/>]

[33] NAVARRO, E. "Curso propedéutico de matemática". Editorial Disza. Caracas.

[34] Tabla de la función de distribución chi- cuadrado. Documento en línea, disponible para consultar en: [<http://www.famaf.unc.edu.ar/~ames/proba2011/Tablachicuadrado.pdf>]

**APENDICE A**  
**Cálculos típicos**

*Aquí se expondrán los cálculos realizados para los objetivos que así lo requirieron*

## A.1 Determinación de las condiciones de almacenamiento de la materia prima en PICA

Tabla A.1 Condiciones diarias de temperatura y humedad en taller PICA

Día	Temperatura ( $T \pm 0,5$ ) °C	Humedad ( $H_{re} \pm 0,1$ ) %	Día	Temperatura ( $T \pm 0,5$ ) °C	Humedad ( $H_{re} \pm 0,1$ ) %
1	26	64	7	26	63
	26	44		26	46
	26	50		26	48
2	26	66	8	26	66
	26	45		26	45
	26	50		26	49
3	26	66	9	26	65
	26	45		26	43
	26	48		26	48
4	26	63	10	26	64
	26	46		26	47
	26	49		26	50
5	26	65	11	26	64
	26	46		26	45
	26	50		26	50
6	26	63	12	26	64
	26	45		26	47
	26	49		26	50

Cálculo de la temperatura promedio, tomando los datos de la Tabla A.1, para el día 2.  
Se tiene:

$$\bar{Vp} = \frac{\sum_{i=1}^N Vi}{Nm} \quad (A.1) \quad [33]$$

Donde:

Vp: valor promedio

Vi: cada uno de los valores

Nm: número de mediciones

Sustituyendo se tiene:

$$\overline{T_p} = \frac{26 + 26 + 26}{3} = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cálculo del error:

$$\Delta\overline{T_p} = \left| \frac{\partial\overline{T}}{\partial T_1} \right| \Delta T_1 + \left| \frac{\partial\overline{T}}{\partial T_2} \right| \Delta T_2 + \left| \frac{\partial\overline{T}}{\partial T_3} \right| \Delta T_3 \quad (A.2)$$

Donde:

$\Delta\overline{T}$ : error del promedio de las temperaturas ( $^\circ\text{C}$ )

$\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3$ : error de las temperaturas en los puntos 1, 2 y 3 ( $^\circ\text{C}$ )

$$\Delta\overline{T_p} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3}{3}$$
$$\Delta\overline{T_p} = \frac{0,5 + 0,5 + 0,5}{3} = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Luego la medida final será para el promedio de todas las temperaturas:

$$\overline{T_p} = (26,0 \pm 0,5) \text{ } ^\circ\text{C}$$

## A.2 Jerarquización de los factores que inciden en el proceso de producción

Para el cálculo del coeficiente de concordancia se sustituyen en la ecuación 2.1, los datos de la Tabla 6. Para la sub-causa "Exceso de tinta":

$$\%C = \frac{3}{4} \times 100 = 75\%$$

De la Tabla 6, se calcula el promedio de los totales, con la ecuación A.1:

$$\bar{S} = \frac{13 + 18 + 30 + 12 + 16 + 27 + 5 + 23}{8}$$

$$\bar{S} = 18$$

Posteriormente se calcula la suma de cuadrados de los rangos:

$$S = \sum (T_i - \bar{S})^2 \quad (A.3)$$

Donde:

S: suma de los cuadrados de los rangos (adim.)

$\bar{S}$ : valor promedio de los totales

Ti: cada uno de los totales

$$S = (13 - 18)^2 + (18 - 18)^2 + (30 - 18)^2 + (12 - 18)^2 + (16 - 18)^2 + (27 - 18)^2 + (5 - 18)^2 + (23 - 18)^2$$

$$S = 484$$

Para establecer el nivel de concordancia entre los jueces se usó la ecuación 2.9 de W de Kendall, para cuatro evaluadores y ocho factores:

$$W = \frac{12 \times 484}{4^2 \times (8^3 - 8)}$$

$$W = 0,7202$$

Para asegurar que este valor sea significativo, se usó la ecuación 2.10 de distribución chi- cuadrado, resultando al sustituir los valores:

$$\chi^2 = 4 \times (8 - 1) \times 0,7202$$

$$\chi^2 = 20,1667$$

### A.3 Cálculo del rendimiento por cada experimento

**Tabla A.2 Cantidad de hojas buenas obtenidas**

		Normal		Secado rápido	
Plancha	Fuente azul	22	24	19	20
	Etching	21	23	17	18
Máster	Fuente azul	12	12	13	12
	Etching	11	9	15	13

Sustituyendo los valores de las hojas buenas (ver Tabla A.2), en la ecuación 3.2, se tiene que:

$$\%R = \frac{19}{25} \times 100 = 76 \%$$

### A.4 Cálculo de la disminución de pérdida de material

Tomando la cantidad de hojas perdidas usando plancha, fuente azul y tinta normal, y comparando éstas con las generadas usando máster, fuente azul y tinta normal, se obtiene empleando la ecuación A.5:

$$Hp = Ht - Hb \quad (A.4)$$

Donde:

Hp: hojas perdidas (adim.)

$$Hp = 25 - 22$$

$$Hp = 3$$

De igual forma se procede con los datos de la réplica y con los obtenidos usando máster, fuente azul y tinta normal. Luego se calcula el promedio de los resultados obtenidos de las replicas usando la ecuación A.1 quedando:



$$\overline{Hp} = \frac{3 + 1}{2}$$

$$\overline{Hp} = 2$$

Finalmente se restan un porcentaje de disminución:

$$\%D = \frac{\overline{Hp}_i - \overline{Hp}_j}{Ht} \times 100$$

Donde:

% D: porcentaje de disminución

i, j: combinaciones de factores

$$\%D = \frac{13 - 2}{25} \times 100 = 44 \%$$

### Tabla A.3 Resultados del programa Minitab

16/04/2012 13:49:16

#### Ajuste factorial: Rendimiento vs. Tinta; Fuente; Patrón

Efectos y coeficientes estimados para rendimiento (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef.			
		Coef	de EE	T	P
Constante		53,250	1,090	48,87	0,000
Tinta	-3,500	-1,750	1,090	-1,61	0,147
Fuente	-0,500	-0,250	1,090	-0,23	0,824
Patron	33,500	16,750	1,090	15,37	0,000
Tinta*Fuente	-6,500	-3,250	1,090	-2,98	0,018
Tinta*Patron	-12,500	-6,250	1,090	-5,74	0,000
Fuente*Patron	-1,500	-0,750	1,090	-0,69	0,511
Tinta*Fuente*Patron	0,500	0,250	1,090	0,23	0,824

S = 4,35890

PRESS = 608

R-cuad. = 97,23%

R-cuad. (pred.) = 88,94%

R-cuad. (ajustado) = 94,81%

Análisis de varianza para rendimiento (unidades codificadas)

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F
Efectos principales	3	4539,00	4539,00	1513,00	79,63
2-Interacciones de (No.) factores	3	803,00	803,00	267,67	14,09
3-Interacciones de (No.) factores	1	1,00	1,00	1,00	0,05
Error residual	8	152,00	152,00	19,00	
Error puro	8	152,00	152,00	19,00	
Total	15	5495,00			

Fuente	P
Efectos principales	0,000
2-Interacciones de (No.) factores	0,001
3-Interacciones de (No.) factores	0,824
Error residual	
Error puro	
Total	

Obs	OrdenEst.	Rendimiento	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
1	11	36,0000	36,0000	3,0822	0,0000	0,00
2	8	56,0000	58,0000	3,0822	-2,0000	-0,65
3	16	60,0000	58,0000	3,0822	2,0000	0,65
4	15	76,0000	80,0000	3,0822	-4,0000	-1,30
5	9	32,0000	28,0000	3,0822	4,0000	1,30
6	5	72,0000	76,0000	3,0822	-4,0000	-1,30
7	13	80,0000	76,0000	3,0822	4,0000	1,30
8	10	48,0000	44,0000	3,0822	4,0000	1,30
9	3	36,0000	36,0000	3,0822	0,0000	0,00
10	1	24,0000	28,0000	3,0822	-4,0000	-1,30
11	12	40,0000	38,0000	3,0822	2,0000	0,65
12	14	64,0000	66,0000	3,0822	-2,0000	-0,65
13	6	68,0000	66,0000	3,0822	2,0000	0,65
14	7	84,0000	80,0000	3,0822	4,0000	1,30
15	4	36,0000	38,0000	3,0822	-2,0000	-0,65
16	2	40,0000	44,0000	3,0822	-4,0000	-1,30

Coefficientes estimados para rendimiento utilizando datos en unidades  
descodificadas

Término	Coef
Constante	53,2500
Tinta	-1,75000
Fuente	-0,25000
Patron	16,7500
Tinta*Fuente	-3,25000
Tinta*Patron	-6,25000
Fuente*Patron	-0,75000
Tinta*Fuente*Patron	0,25000

Medias de cuadrado mínimo para rendimiento

	Media	Media del Error estándar
Tinta		
Normal	55,00	1,541
Rapida	51,50	1,541
Fuente		
Etching	53,50	1,541
Azul	53,00	1,541
Patron		
Master	36,50	1,541
Plancha	70,00	1,541
Tinta*Fuente		
Normal Etching	52,00	2,179
Rapida Etching	55,00	2,179
Normal Azul	58,00	2,179

Rapida Azul	48,00	2,179
Tinta*Patron		
Normal Master	32,00	2,179
Rapida Master	41,00	2,179
Normal Plancha	78,00	2,179
Rapida Plancha	62,00	2,179
Fuente*Patron		
Etching Master	36,00	2,179
Azul Master	37,00	2,179
Etching Plancha	71,00	2,179
Azul Plancha	69,00	2,179
Tinta*Fuente*Patron		
Normal Etching Master	28,00	3,082
Rapida Etching Master	44,00	3,082
Normal Azul Master	36,00	3,082
Rapida Azul Master	38,00	3,082
Normal Etching Plancha	76,00	3,082
Rapida Etching Plancha	66,00	3,082
Normal Azul Plancha	80,00	3,082
Rapida Azul Plancha	58,00	3,082

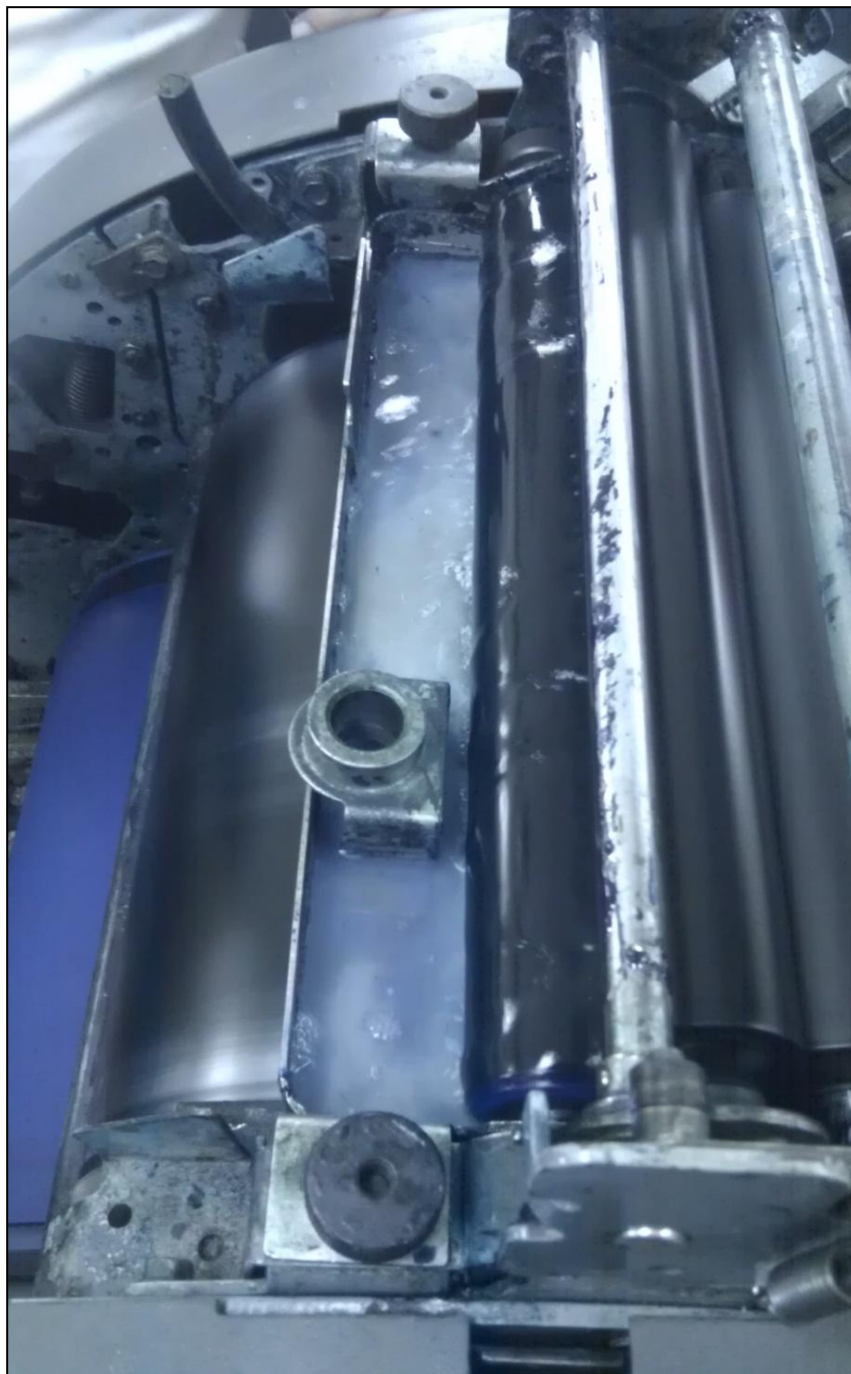
## **APENDICE B**

### **Imágenes y tablas de referencia**

*A continuación se presentan las figuras referentes al proceso de impresión.*



**Figura B.1 Impresora offset AD BICK 360.**



**Figura B.2 Recipiente de solución fuente.**



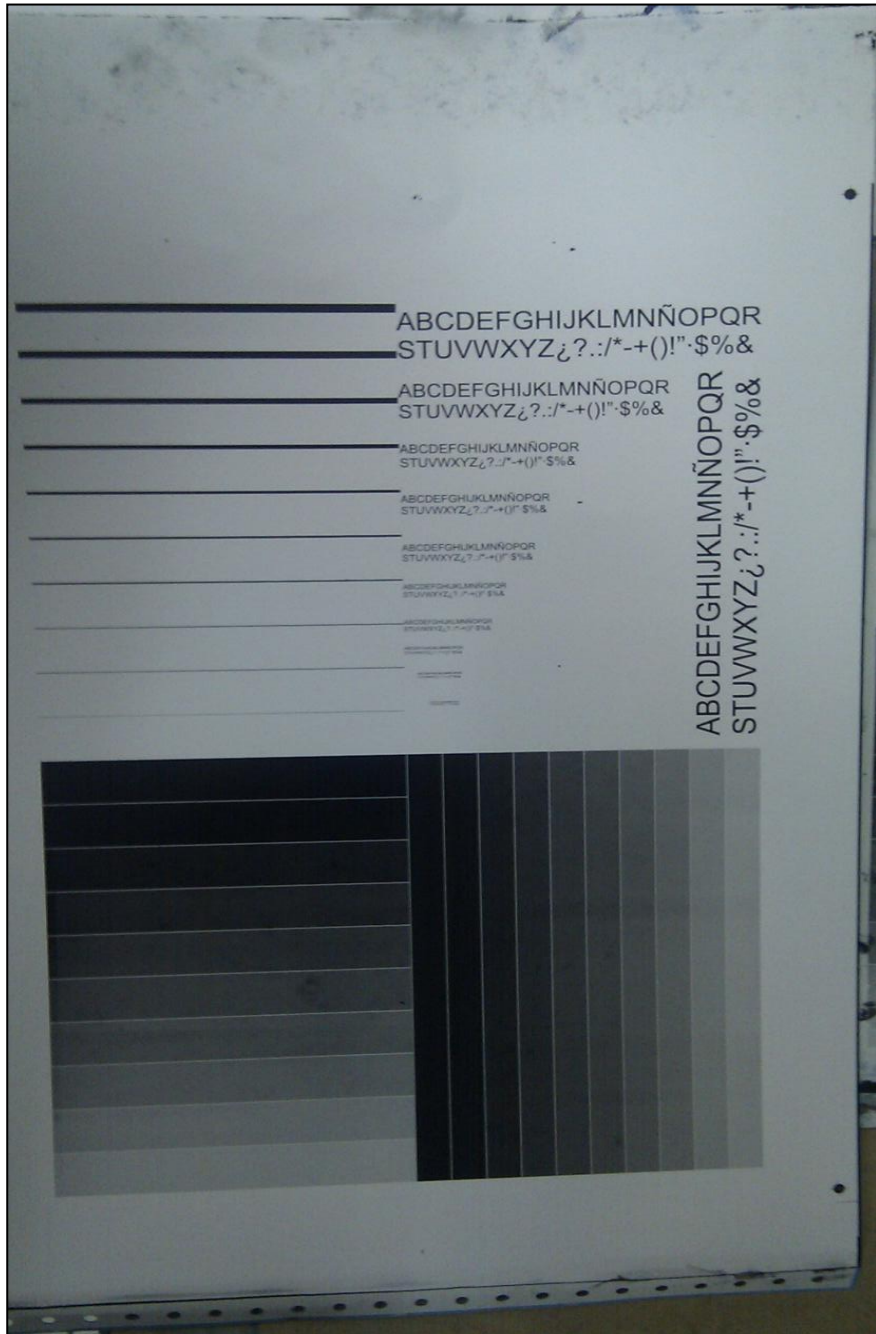


Figura B.3 Patrón tipo plancha usado en el experimento.

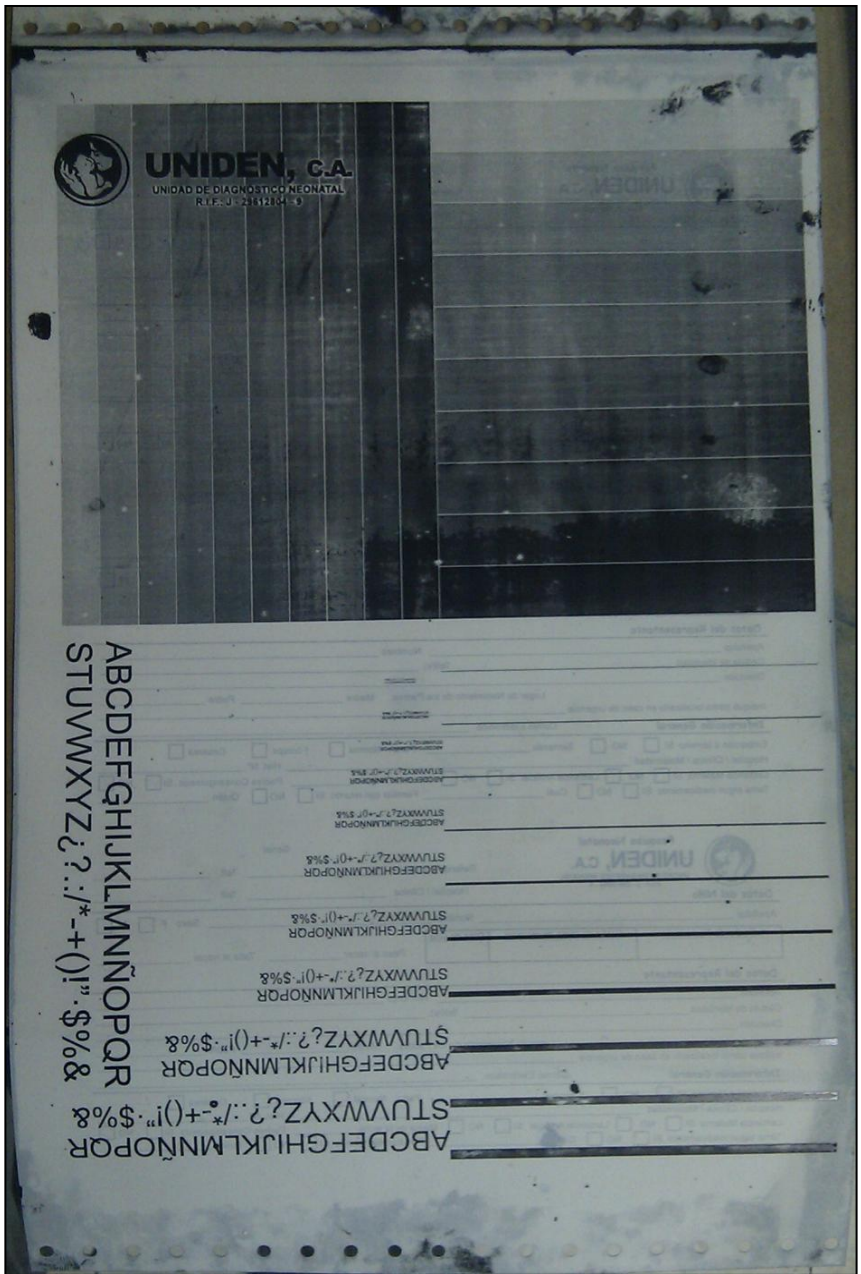


Figura B.4 Patrón tipo máster usado en el experimento.



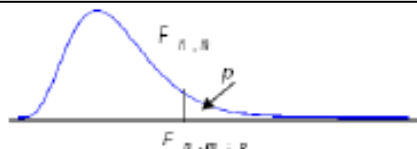
**Figura B.5 Cuentahilos**

Tabla B.1 Distribución chi cuadrado  $\chi^2$ . [34]

v/p	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	10,8274	9,1404	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	2,0722	1,6424	1,3233	1,0742	0,8735	0,7083	0,5707	0,4549
2	13,8150	11,9827	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,7942	3,2189	2,7726	2,4079	2,0996	1,8326	1,5970	1,3863
3	16,2660	14,3202	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	5,3170	4,6416	4,1083	3,6649	3,2831	2,9462	2,6430	2,3660
4	18,4662	16,4238	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	6,7449	5,9886	5,3853	4,8784	4,4377	4,0446	3,6871	3,3567
5	20,5147	18,3854	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	8,1152	7,2893	6,6257	6,0644	5,5731	5,1319	4,7278	4,3515
6	22,4575	20,2491	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	9,4461	8,5581	7,8408	7,2311	6,6948	6,2108	5,7652	5,3481
7	24,3213	22,0402	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	10,7479	9,8032	9,0371	8,3834	7,8061	7,2832	6,8000	6,3458
8	26,1239	23,7742	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	12,0271	11,0301	10,2189	9,5245	8,9094	8,3505	7,8325	7,3441
9	27,8767	25,4625	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	13,2880	12,2421	11,3887	10,6564	10,0060	9,4136	8,8632	8,3428
10	29,5879	27,1119	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	14,5339	13,4420	12,5489	11,7807	11,0971	10,4732	9,8922	9,3418
11	31,2635	28,7291	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	15,7671	14,6314	13,7007	12,8987	12,1836	11,5298	10,9199	10,3410
12	32,9092	30,3182	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	16,9893	15,8120	14,8454	14,0111	13,2661	12,5838	11,9463	11,3403
13	34,5274	31,8830	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	18,2020	16,9848	15,9839	15,1187	14,3451	13,6356	12,9717	12,3398
14	36,1239	33,4262	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	19,4062	18,1508	17,1169	16,2221	15,4209	14,6853	13,9961	13,3393
15	37,6978	34,9494	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	20,6030	19,3107	18,2451	17,3217	16,4940	15,7332	15,0197	14,3389
16	39,2518	36,4555	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	21,7931	20,4651	19,3689	18,4179	17,5646	16,7795	16,0425	15,3385
17	40,7911	37,9462	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	22,9770	21,6146	20,4887	19,5110	18,6330	17,8244	17,0646	16,3382
18	42,3119	39,4220	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	24,1555	22,7595	21,6049	20,6014	19,6993	18,8679	18,0860	17,3379
19	43,8194	40,8847	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	25,3289	23,9004	22,7178	21,6891	20,7638	19,9102	19,1069	18,3376
20	45,3142	42,3358	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	26,4976	25,0375	23,8277	22,7745	21,8265	20,9514	20,1272	19,3374
21	46,7963	43,7749	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	27,6620	26,1711	24,9348	23,8578	22,8876	21,9915	21,1470	20,3372
22	48,2676	45,2041	42,7957	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	28,8224	27,3015	26,0393	24,9390	23,9473	23,0307	22,1663	21,3370
23	49,7276	46,6231	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	29,9792	28,4288	27,1413	26,0184	25,0055	24,0689	23,1852	22,3369
24	51,1790	48,0336	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	31,1325	29,5533	28,2412	27,0960	26,0625	25,1064	24,2037	23,3367
25	52,6187	49,4351	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	32,2825	30,6752	29,3388	28,1719	27,1183	26,1430	25,2218	24,3366
26	54,0511	50,8291	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	33,4295	31,7946	30,4346	29,2463	28,1730	27,1789	26,2395	25,3365
27	55,4751	52,2152	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	34,5736	32,9117	31,5284	30,3193	29,2266	28,2141	27,2569	26,3363
28	56,8918	53,5939	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	35,7150	34,0266	32,6205	31,3909	30,2791	29,2486	28,2740	27,3362
29	58,3006	54,9662	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	36,8538	35,1394	33,7109	32,4612	31,3308	30,2825	29,2908	28,3361



Tabla B.2 Valores F de la distribución F de Fischer [15]

$$P(F_{n,m} \geq F_{n,m;p}) = p$$


<i>m</i>	<i>p</i>	<i>n</i> =1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,1	39,864	49,600	63,593	55,833	57,240	58,204	58,906	59,439
1	0,05	161,446	199,499	215,707	224,583	230,160	233,988	236,767	238,884
1	0,025	647,793	799,482	864,151	899,599	921,835	937,114	948,203	956,643
1	0,01	4052,185	4999,340	5403,534	5624,257	5763,965	5858,960	5928,334	5980,954
1	0,005	16212,463	19997,358	21614,134	22500,753	23055,822	23439,527	23715,198	23923,814
2	0,1	8,526	9,000	9,162	9,243	9,293	9,326	9,349	9,367
2	0,05	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,329	19,353	19,371
2	0,025	38,506	39,000	39,166	39,248	39,298	39,331	39,356	39,373
2	0,01	98,502	99,000	99,164	99,251	99,302	99,331	99,357	99,375
2	0,005	198,503	199,012	199,158	199,245	199,303	199,332	199,361	199,376
3	0,1	5,538	5,482	5,391	5,343	5,309	5,295	5,286	5,252
3	0,05	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845
3	0,025	17,443	16,044	15,439	15,101	14,885	14,735	14,624	14,540
3	0,01	34,116	30,816	29,457	28,710	28,237	27,911	27,671	27,489
3	0,005	66,552	49,800	47,468	46,195	45,391	44,838	44,434	44,126
4	0,1	4,545	4,325	4,191	4,107	4,051	4,010	3,979	3,956
4	0,05	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041
4	0,025	12,218	10,649	9,979	9,604	9,364	9,197	9,074	8,980
4	0,01	21,198	18,000	16,694	15,977	15,522	15,207	14,976	14,799
4	0,005	31,332	26,284	24,260	23,154	22,456	21,975	21,622	21,352
5	0,1	4,060	3,780	3,619	3,520	3,453	3,405	3,368	3,339
5	0,05	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818
5	0,025	10,007	8,434	7,764	7,388	7,146	6,978	6,853	6,757
5	0,01	16,258	13,274	12,060	11,392	10,967	10,672	10,456	10,289
5	0,005	22,785	18,314	16,530	15,556	14,939	14,513	14,200	13,961
6	0,1	3,776	3,463	3,289	3,181	3,108	3,055	3,014	2,983
6	0,05	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147
6	0,025	8,813	7,260	6,599	6,227	5,988	5,820	5,695	5,600
6	0,01	13,745	10,925	9,780	9,148	8,746	8,466	8,260	8,102
6	0,005	18,635	14,544	12,917	12,028	11,464	11,073	10,786	10,566
7	0,1	3,589	3,257	3,074	2,961	2,883	2,827	2,785	2,752
7	0,05	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726
7	0,025	8,073	6,542	5,890	5,523	5,285	5,119	4,995	4,899
7	0,01	12,246	9,547	8,451	7,847	7,460	7,191	6,993	6,840
7	0,005	16,235	12,404	10,883	10,050	9,522	9,155	8,885	8,678
8	0,1	3,458	3,113	2,924	2,806	2,726	2,668	2,624	2,589
8	0,05	5,318	4,459	4,066	3,838	3,688	3,581	3,500	3,438
8	0,025	7,571	6,059	5,416	5,053	4,817	4,652	4,529	4,433
8	0,01	11,259	8,649	7,591	7,006	6,632	6,371	6,178	6,029
8	0,005	14,688	11,043	9,597	8,805	8,302	7,952	7,694	7,496
9	0,1	3,360	3,006	2,813	2,693	2,611	2,551	2,505	2,469
9	0,05	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230
9	0,025	7,209	5,715	5,078	4,718	4,484	4,320	4,197	4,102
9	0,01	10,562	8,022	6,992	6,422	6,057	5,802	5,613	5,467
9	0,005	13,614	10,107	8,717	7,956	7,471	7,134	6,885	6,693