

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Control y mejora del proceso de impresión de litografía en una
imprenta”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Grado de:

MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Presentada por:

Ing. Gest. Emp. María Lorena Martínez Hinojosa

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios por estar siempre a mi lado, gracias papá y mamá por todo su apoyo y por el ejemplo que me han transmitido.

Un agradecimiento especial al Dr. Ramón Francis por su invaluable conocimiento y a mi tutor el Ing. Marcos Buestán B, por su aporte y guía durante el desarrollo de esta tesis.

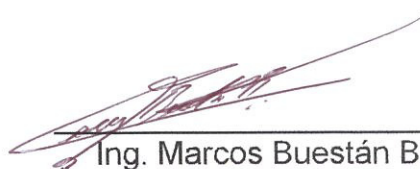
DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, y a todas las personas que intervinieron directa o indirectamente en la culminación de este nuevo proyecto en mi vida.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Marcos Tapia Q.
**VOCAL- PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
DELEGADO DECANO DE LA FIMCP**



Ing. Marcos Buestán B.
DIRECTOR DE TESIS



CIB -ESPOL



Dr. Kléber Barcia V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Ing. María Lorena Martínez H.

RESUMEN EJECUTIVO

La industria gráfica, en especial las imprentas, necesitan día a día ofrecer mejores productos a sus clientes, no sólo por la alta competencia que existe en el mercado, sino por las exigencias que tiene el cliente tanto del producto como del servicio antes de tomar una decisión de compra. La diferenciación de la calidad en el producto junto con el manejo apropiado de los costos de producción, permiten que una empresa pueda ofrecer mejores servicios a sus clientes permitiendo que, se distinga entre otras empresas y logre mantenerse o finalmente desaparecer del mercado.

Este trabajo se realiza debido a los constantes reclamos que recibe la compañía por parte de sus clientes, lo que ha generado en muchos casos problemas de devolución, reprocesos, e incluso pérdida de clientes. Por lo tanto el problema científico, surge como resultado de existir inconvenientes en el proceso de impresión de la línea de litografía que inciden en la calidad del producto terminado provocando devoluciones que incrementan el costo de producción.

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo de un sistema de control de variables en el proceso de impresión de litografía con el fin de mejorar la calidad del producto y disminuir los costos de producción.

A través de herramientas para la mejora de la calidad, la aplicación de gráficos de control y estudios de capacidad, se identifican las causas que inciden en el proceso de impresión, y su capacidad para satisfacer las necesidades de los clientes, posteriormente a través de la aplicación de diseño de experimentos, se establecen los factores que en mayor medida influyen en el comportamiento de la variable respuesta.

Finalmente se demuestra como al realizar un seguimiento del comportamiento de la variable que influye mayormente en el problema de las devoluciones se logra controlar el proceso de impresión de litografía, generando una mejora de la calidad del producto; al no recibir devoluciones de trabajos provenientes de la máquina SM-74, en los siguientes meses.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
- Antecedentes del trabajo	1
- Descripción del problema científico	1
- Hipótesis de la investigación	3
- Objetivo general	3
- Objetivos específicos	4
- Impacto del estudio	4
- Métodos y técnicas principales	6
CAPÍTULO 1.....	7
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Conceptos de Calidad	7
1.2. Conceptos de Procesos	8
1.3. Control Estadístico de Procesos	11
1.4. Gráfica de control $\bar{X}$ -R	13
1.5. Principio de medición del Densitómetro	14
1.6. La capacidad de los procesos	16
1.7. Diseño de Experimentos	18
1.8. Costos de Calidad	18
CAPÍTULO 2.....	21
2. CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO. DIAGNÓSTICO. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA EMPRESA.....	21
2.1. Antecedentes	21
2.1.1. Los Clientes	22
2.1.2. La Competencia	23
2.1.3. Los Proveedores	23
2.1.4. La Demanda	24
2.1.5. El Proceso	24
2.2. Diagnóstico del proceso de Producción de Litografía	28
2.3. Diagrama de Pareto	28
2.4. Diagrama Causa - Efecto	29
2.5. Coeficiente de Concordancia W de Kendall	31
2.6. Determinación de la Variable a medir	32

2.7. Impacto Económico del estudio	34
CAPÍTULO 3.....	37
3. SOLUCIONES PROYECTADAS	37
3.1. Control Estadístico de Procesos	37
3.2. Cálculo de los límites de Control de Prueba	40
3.3. Prueba de Normalidad	50
3.4. Análisis de Capacidad de datos normales	53
3.5. Planificación del Diseño de Experimentos	64
3.6. Matriz de diseño en orden estándar	67
3.7. Formulación de la Hipótesis del diseño de experimentos.....	67
3.8. Análisis de los datos e interpretación de la variable respuesta calidad del producto	68
3.9. Análisis de los datos e interpretación de la variable respuesta densidad del	
color negro.....	74
CAPÍTULO 4.....	79
4. APLICACIÓN DE LAS SOLUCIONES PROYECTADAS	79
4.1. Cumplimiento de objetivos específicos	79
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: CANTIDAD DE DEVOLUCIONES ACUMULADAS A JULIO	2
FIGURA 1.2: CANTIDAD DE ÓRDENES DE PRODUCCIÓN ACUMULADAS A JULIO.....	2
FIGURA 1.3: PORCENTAJE DE DEVOLUCIONES / ORDENES DE PRODUCCIÓN A JULIO	3
FIGURA 1.4: PRINCIPIO DE MEDICIÓN DE UN DENSITÓMETRO	15
FIGURA 1.5: DENSITÓMETRO	15
FIGURA 2.1: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE IMPRESIÓN DE LITOGRAFÍA.....	27
FIGURA 2.2: DIAGRAMA DE PARETO DE LAS DEVOLUCIONES RECIBIDAS POR ÁREA	29
FIGURA 2.3: DIAGRAMA CAUSA-EFECTO DEL PROBLEMA DE DEVOLUCIONES.....	30
FIGURA 3.1: CANTIDAD DE ORDENES DE PRODUCCIÓN POR CATEGORÍA	39
FIGURA 3.2: GRÁFICA DE CONTROL $\bar{X}$ -R DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR CYAN	42
FIGURA 3.3: GRÁFICA DE CONTROL $\bar{X}$ -R DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR MAGENTA ...	45
FIGURA 3.4: GRÁFICA DE CONTROL $\bar{X}$ -R DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR AMARILLO ...	47
FIGURA 3.5: GRÁFICA DE CONTROL $\bar{X}$ -R DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR NEGRO	48
FIGURA 3.6: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS DE LA DENSIDAD DEL COLOR CYAN	51
FIGURA 3.7: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS DE LA DENSIDAD DEL COLOR MAGENTA.....	52
FIGURA 3.8: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS DE LA DENSIDAD DEL COLOR AMARILLO	52
FIGURA 3.9: PRUEBA DE NORMALIDAD DE LOS DATOS DE LA DENSIDAD DEL COLOR NEGRO	53
FIGURA 3.10: ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL COLOR CYAN.....	55
FIGURA 3.11: ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL COLOR MAGENTA	57
FIGURA 3.12: ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL COLOR AMARILLO	59
FIGURA 3.13: ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL COLOR NEGRO	61
FIGURA 3.14: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ALEATORIEDAD DE LOS DATOS.....	69
FIGURA 3.15: GRÁFICO DE DANIEL (GRÁFICO DE EFECTOS EN PAPEL NORMAL).....	70
FIGURA 3.16: EFECTO DE INTERACCIÓN DE LOS FACTORES CONDUCTIVIDAD Y ALCOHOL	71
FIGURA 3.17: EFECTO DE INTERACCIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL PRODUCTO	72
FIGURA 3.18: GRÁFICA DE EFECTOS PRINCIPALES.....	73
FIGURA 3.19: GRÁFICA DE EFECTOS PRINCIPALES SOBRE LA DENSIDAD DEL COLOR NEGRO.....	76
FIGURA 3.20: EFECTO DE INTERACCIÓN SOBRE LA DENSIDAD DEL COLOR NEGRO	77
FIGURA 4.1: ANÁLISIS DE CAPACIDAD DEL COLOR NEGRO	82
FIGURA 4.2: CURVA CARACTERÍSTICA DE OPERACIÓN PARA VALORES DE K=1	84
FIGURA 4.3: COMPORTAMIENTO DEL MOTIVO VARIACIÓN DE LA TONALIDAD POR MES	87

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: CANTIDAD DE DEVOLUCIONES RECIBIDAS DE ENERO A JULIO DE 2007, POR ÁREA	28
TABLA 2.2: PONDERACIÓN DE LAS CAUSAS QUE PROVOCAN EL PROBLEMA DE DEVOLUCIONES ...	31
TABLA 2.3: DEVOLUCIONES RECIBIDAS POR DEFECTO Y POR MÁQUINA DE ENERO A JULIO	33
TABLA 2.4: DEVOLUCIONES VALORIZADAS POR DEFECTO Y POR MÁQUINA DE ENERO A JULIO.....	35
TABLA 3.1: VALORES RECOMENDADOS DE LA DENSIDAD DE LA TINTA A NIVEL MUNDIAL.....	38
TABLA 3.2: VALORES RECOPIADOS DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR CYAN	40
TABLA 3.3: VALORES RECOPIADOS DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR MAGENTA.....	43
TABLA 3.4: VALORES RECOPIADOS DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR AMARILLO	45
TABLA 3.5: VALORES RECOPIADOS DE LA DENSIDAD DE LA TINTA DEL COLOR NEGRO.....	47
TABLA 3.6: RANGO DE VALORES DEL C_p Y SIGNIFICADO	54
TABLA 3.7: CUADRO RESUMEN DE ÍNDICES DE CAPACIDAD POR CADA COLOR	63
TABLA 3.8: FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DENSIDAD DE LA TINTA CON SUS NIVELES	65
TABLA 3.9: CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO	65
TABLA 3.10: MATRIZ DE DISEÑO EN ORDEN ESTÁNDAR.....	67
TABLA 3.11: RESULTADOS DE LA VARIABLE RESPUESTA CALIDAD DEL PRODUCTO	68
TABLA 3.12: EFECTOS ESTIMADOS EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO	72
TABLA 3.13: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO	74
TABLA 3.14: RESULTADOS DE LA VARIABLE RESPUESTA DENSIDAD DEL COLOR NEGRO	75
TABLA 3.15: EFECTOS ESTIMADOS EN LA DENSIDAD DEL COLOR NEGRO	75
TABLA 3.16: ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DENSIDAD DEL COLOR NEGRO	76
TABLA 4.1: COMPARATIVO DE VALORES PARA EL COLOR NEGRO	83
TABLA 4.2: COMPORTAMIENTO DEL MOTIVO VARIACIÓN DE LA TONALIDAD POR MES.....	87
TABLA 4.3: CANTIDAD DE DEVOLUCIONES RECIBIDAS POR MES Y POR MÁQUINA	88
TABLA 4.4: COSTO DE DEVOLUCIONES RECIBIDAS POR MES Y POR MÁQUINA.....	88
TABLA 4.5: REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS DEVOLUCIONES	90

ABREVIATURAS

ANVA	Análisis de varianza
ARL1	Longitud de corrida promedio
CMYK	Siglas en inglés para los colores cyan, magenta, amarillo y negro
DDE	Diseño de experimentos
GTO	Máquina GTO
KS	Kolmogorov – Smirnov
LC	Límite central de control
LIC	Límite inferior de control
LIE	Límite inferior de especificación
LSC	Límite superior de control
LSE	Límite superior de especificación
O/P	Órdenes de Producción
OPERIN	Diagrama de Operación e Inspección
PM 74	Máquina Print Master 74
SM 74	Máquina Speed Master 74

INTRODUCCIÓN

- Antecedentes del trabajo

La empresa objeto de estudio, es una industria que se dedica a la venta, producción y distribución de trabajos de impresión en todo tipo de papel y cartulina. Debido a la línea de producción que tiene es decir de tipo seriada mediana, con trabajos impresos que no se repiten de forma periódica y con lotes de productos limitados; se considera que es un objeto de investigación que tiene una característica de importancia y actualidad, que muy pocos autores han profundizado, tanto en temas de estudio de procesos, de métodos de trabajo como en aquellos de calidad.

Además, al ser una empresa con una administración del tipo familiar, hace aún más interesante el estudio, ya que no cuenta con estándares establecidos, ni estudios preliminares de procesos de trabajo, que una empresa del tipo multinacional los tendría, por lo que aplicar este trabajo de tesis en la empresa, representa un beneficio para el que lo realiza, para la empresa objeto de estudio y para la industria.

- Descripción del problema científico

La empresa objeto de estudio, es una imprenta que cuenta con su sistema de gestión de calidad certificado desde el año 2004, sin embargo, en el último año, la compañía ha recibido por parte de sus clientes reclamos constantes de la calidad del producto terminado, llegando en algunos casos a generar devoluciones del producto, insatisfacción de los clientes y pérdida de recursos financieros que en muchos casos son asumidos por la propia empresa.

Para cuantificar el problema, se realizó una recopilación de datos de los últimos meses, para analizar el número de devoluciones que se han generado, y a su vez comparar el resultado con aquellas que hubo en el periodo similar del año anterior y poder analizar la tendencia de su comportamiento; el resultado fue que el número de devoluciones se incrementó en un 71% con respecto al año anterior; añadiéndole el problema que esta tasa de crecimiento fue aumentando a medida que avanzaba el año. (Figura 1.1)

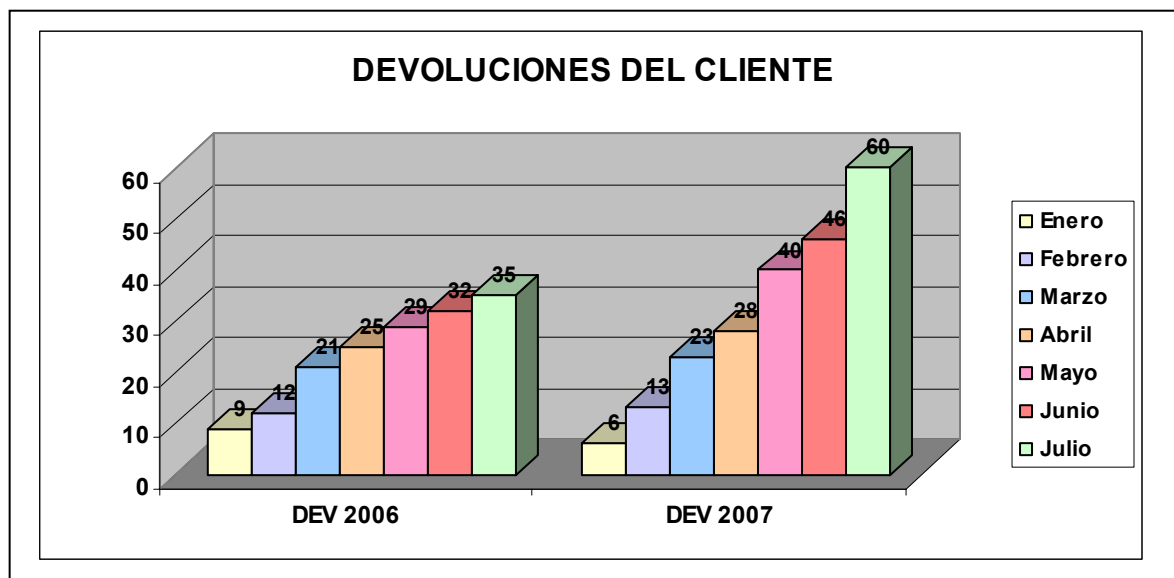


Figura 1.1: Cantidad de devoluciones acumuladas a Julio

De igual forma, se recopilamos los datos del número de órdenes de producción trabajadas en el mismo período, con el fin de analizar el comportamiento de la variable “devoluciones”, y definir si su incremento es resultado del aumento de la producción de la compañía. Sin embargo, como se puede observar en el (Figura 1.2), se produjeron 308 órdenes de producción menos con respecto al año 2006, representando una disminución del 29%. Por lo que se puede concluir a priori, que el crecimiento en el número de devoluciones, no se genera proporcionalmente al número de órdenes de producción.

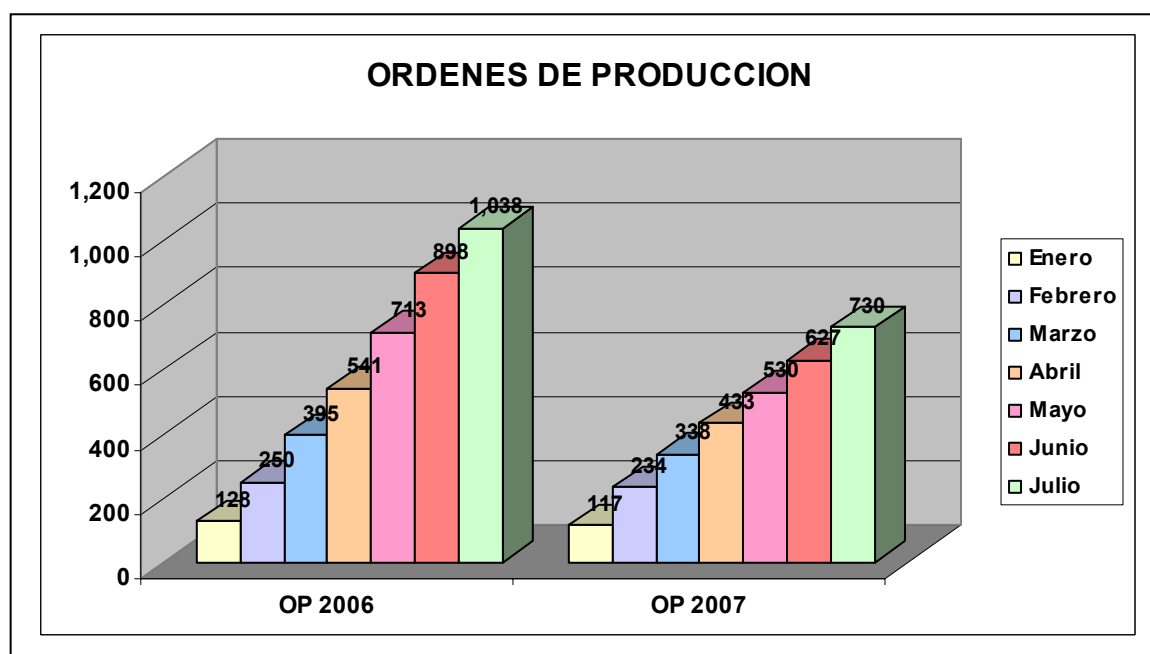


Figura 1.2: Cantidad de Órdenes de Producción acumuladas a Julio

Luego de recopilar los datos iniciales, se procedió a realizar una reunión de análisis con expertos del personal de producción y de control de calidad para conocer los datos de las devoluciones y el motivo de las mismas, coincidiendo en que el proceso con mayor dificultad es el área de impresión, generando problemas por variación de tono y errores de impresión con respecto al arte aprobado por el cliente, originando reprocesos en el producto que conllevan a un incremento en los costos de producción que no son recuperados, afectando negativamente a los resultados.

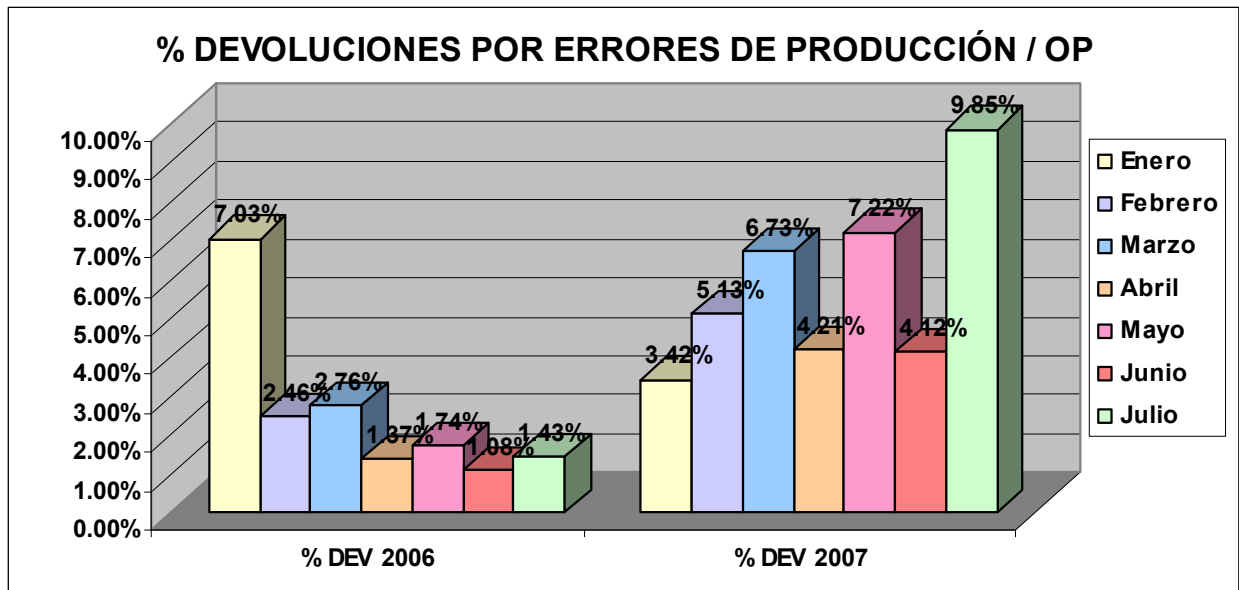


Figura 1.3: Porcentaje de devoluciones / Ordenes de Producción a Julio

En síntesis, **el problema científico** surge como resultado de existir problemas en el proceso de impresión de la línea de litografía que inciden en la calidad del producto provocando devoluciones que incrementan el costo de producción.

- Hipótesis de la investigación

Si se implementa un sistema de control de variables en el proceso de impresión de litografía en una imprenta se mejorará la calidad del producto terminado y se disminuirán los costos de producción.

- Objetivo general

Desarrollar un sistema de control de variables en el proceso de impresión de litografía con el fin de mejorar la calidad del producto y disminuir los costos de producción.

- Objetivos específicos

Establecer un diagnóstico que permita conocer que característica de calidad es mayormente afectada por la variabilidad del proceso de impresión de litografía incidiendo en la calidad del producto terminado, y consecuentemente en los costos de producción.

Determinar las causas que provocan que se genere la variabilidad de dicha característica y a su vez del proceso de impresión de litografía que influyen en la calidad del producto terminado y por consiguiente en los costos de producción.

Implementar una herramienta de mejoramiento y control estadístico de procesos que disminuya la variabilidad del proceso de impresión de litografía y por consiguiente se logre el incremento de la calidad del producto terminado y la disminución de los costos de producción.

Validar el sistema de control de variables en el proceso de impresión de la línea de litografía con el fin de aumentar la calidad en el producto terminado y disminuir los costos de producción.

- Impacto del estudio

Novedad

No existe evidencia escrita que demuestre que se haya realizado un estudio anterior sobre el control estadístico del proceso de impresión de litografía que mejore la calidad del producto terminado con la disminución de los costos de producción en una compañía con administración familiar y con un tipo de producción seriada mediana o por lotes de productos limitados.

Conveniencia

Una vez terminado e implementado el sistema de control de variables en la empresa objeto de estudio, se obtendrá un proceso controlado que mejorará la calidad del producto terminado, reduciendo las devoluciones que afectan los costos de producción.

Relevancia social

Con este estudio, se beneficiarán 80 empleados directos, a consecuencia del control y mejora del proceso productivo, ya que al incrementar la calidad del producto terminado, se disminuirá los costos de producción, habrá una rentabilidad más conveniente para la empresa, la que redundará en beneficios para el personal, a través de la mejora de las condiciones en el trabajo, y por consiguiente en su rendimiento.

Implicaciones prácticas

La implementación de este trabajo de tesis en el proceso de impresión de la línea de litografía necesita de nuevas inversiones en el área, cambios en los métodos de trabajo, capacitación del personal involucrado y control de los métodos establecidos.

Valor teórico

Se va a aportar por primera vez un estudio que incluya en un solo compendio un sistema de control de variables que controle y mejore el proceso de impresión de la línea de litografía, su incidencia en la calidad del producto terminado y en la disminución de los costos de producción; en una imprenta ecuatoriana de producción seriada mediana y de administración familiar.

Utilidad metodológica

Gracias a la estructura del diseño de este estudio científico, es posible implantar el sistema de control de variables en otros procesos de la misma compañía y a su vez en otras industrias de similares características

Beneficios económicos esperados

Una vez que el procedimiento esté implementado y se logre mejorar y controlar el proceso de impresión de la línea de litografía, según la bibliografía estudiada y tomada como referencia; la empresa se beneficiará con una disminución de por lo menos un 10% de los costos de producción como consecuencia del incremento de la calidad en el producto terminado.

- Métodos y técnicas principales

Para cumplir con los objetivos propuestos se utilizarán herramientas tales como plantillas de registro para recopilar datos durante el proceso de impresión de litografía, el levantamiento y estructuración del mapa de proceso de impresión de litografía, levantamiento y análisis del diagrama causa-efecto, a fin de conocer las causas principales que inciden en la generación del problema, y análisis del diagrama de Pareto.

Se utilizarán además técnicas de muestreo y gráficos de control $\bar{X}$ -R para analizar gráficamente la variabilidad durante el proceso. Simultáneamente se realizará un diseño de experimentos durante el proceso de impresión, para determinar la incidencia de los diferentes factores en la variable respuesta. Finalmente, se realizarán reuniones de análisis de datos y lluvias de ideas con expertos del proceso, para llegar a un consenso en cada resultado obtenido durante el proceso.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

Calidad, productividad, mejoramiento de procesos, palabras que actualmente son utilizadas por muchas empresas, sin embargo, son pocas las administraciones que realmente se identifican con estos términos. Tratar estos temas dentro de una empresa no debe ser tomado como una obligación para mantenerse en el mercado, sino más bien que debe ser parte de la cultura organizacional de la empresa con el objetivo de ser competitivos no sólo con la disminución de sus costos sino que también ofreciendo mejores productos y servicios como resultado de la investigación e innovación de sus negocios.

En este tiempo, las empresas no sólo se desenvuelven en un mercado cuyos competidores son cada vez más estratégicos sino que deben también ofrecer productos a consumidores sumamente exigentes, en donde más allá de atraer potenciales clientes se trata de mantener los actuales consumidores, para esto, es de vital importancia saber como gestionar la calidad.

1.1. Conceptos de Calidad

Existen autores como el Dr. William Edwards Deming que abordan el tema de la calidad como un compromiso de mejora constante y que sugiere la idea de sustituir la inspección (o control), como forma de conseguir la calidad, por una metodología que implique la participación de todos, rompiendo barreras y fomentando estilos de liderazgo participativos.¹

Philip B. Crosby, otro autor norteamericano, considera que la principal "barrera para la calidad" reside en llegar a cambiar las actitudes de algunos operarios incrédulos y en alterar la cultura de la propia organización basada en el miedo, para orientarla hacia la prevención del error y lograr "hacer las cosas bien a la primera".²

Planificar, controlar y mejorar la calidad es la receta de Joseph M. Juran. Para ello, sugiere determinar quiénes son los clientes, cuáles son sus necesidades, desarrollar

¹ Deming, W. Edwards, La nueva economía, Díaz de Santos, 1994.

² Crosby, Philip B., Quality is still free: Making quality certain in uncertain times, McGraw-Hill, 1996.

seguidamente los productos o servicios que las satisfagan, evaluar el logro alcanzado, actuar para reducir la diferencia, si ésta se produce, e introducir mejoras hasta donde se sea capaz.³

De forma complementaria, no interrumpir la cadena proveedor-cliente, impulsar la formación continuada, los métodos estadísticos y fomentar la comunicación, son las herramientas que recomienda Ishikawa.⁴

Por otro lado con un concepto sin mucho detalle la serie ISO 9000:2005, define la calidad como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.⁵

En resumen, todos los autores coinciden en que la calidad supone que el producto deberá cumplir con las funciones y especificaciones para los que ha sido diseñado y que deberán ajustarse a los requisitos expresados por el cliente. Los enfoques y pasos para lograr la calidad varían pero los objetivos que se desean alcanzar son los mismos.

Todos estos autores han tenido una influencia directa y notoria en el desarrollo del concepto actual de calidad y en el desarrollo e implementación de estrategias y herramientas en empresas cuya meta es lograr clientes satisfechos, ofreciendo mejores servicios y sobre todo a bajos costos.

1.2. Conceptos de Procesos

De la misma manera, muy ligado al concepto de calidad se encuentra el concepto de procesos, que es el conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman los elementos de entrada en resultados.⁵

Es así como Juran indica que, siempre existe una relación en la cadena entrada – salida, en cualquier etapa de un proceso, la salida (producto) se convierte en la entrada (insumo) de una siguiente etapa.³

³ Juran, Joseph M., Gryna, Frank M. Manual del Control de Calidad, 1951.

⁴ Ishikawa, Kaoru, ¿Qué es el control total de calidad?, Norma, 1994.

⁵ ISO 9000:2000, Sistemas de gestión de la calidad – Fundamentos y vocabulario, ISO, 2000.

Un proceso es un conjunto de actividades organizadas para conseguir un fin, desde la producción de un objeto o prestación de un servicio hasta la realización de cualquier actividad interna.

En una empresa industrial, la excelencia en producción vendrá determinada por la calidad de sus procesos, que determinan finalmente la calidad de sus productos. Significará por tanto, la necesidad de mantener un estricto control sobre esos procesos productivos porque sólo esos procesos de alta calidad proporcionan productos de calidad, al menor costo y en el plazo más breve posible.

El control y mejora de procesos, es un concepto que va más allá del simple cumplimiento de estándares, es tener en el mismo momento, el personal competente, con la maquinaria en buen estado, obteniendo como resultado un producto final que cumple con las características requeridas por el cliente.⁶

Pero para llegar a esto, se debe no solamente controlar al proceso y a sus involucrados sino también disminuir la variabilidad que exista en cada actividad, de tal forma que, una vez que se haya disminuido, se pueda mejorar el proceso, y así obtener resultados acordes con los establecidos, por lo tanto, el control de procesos es una técnica que va más allá de un simple control de calidad, ya que involucra totalmente a la dirección quien debe tomar decisiones con respecto a nuevas inversiones, rediseños o tecnologías que deben ser aplicadas con el fin de alcanzar los objetivos esperados.

Deming y Juran sostienen que el 85 % de los problemas de una empresa son culpa y responsabilidad de la administración y no de sus trabajadores, porque son los administradores quienes no han podido organizar el trabajo para que los empleados tengan un sistema de autocontrol.

Así Deming, indica que para mejorar un proceso, se necesita primero tenerlo bajo control.¹

Mejorar la calidad del proceso de trabajo genera como resultado una menor cantidad de errores, de productos defectuosos y de repetición del trabajo, acorta el tiempo total del ciclo

⁶ Prat, Albert, Tort-Martorell, Xavier, Grima, Pere, y Pozueta, Lourdes, Métodos estadísticos, control y mejora de la calidad, Ed. UPC, Barcelona, 1994.

y reduce el uso de recursos humanos y materiales, disminuye por tanto, el costo general de las operaciones, con base a una mayor productividad.

El mejoramiento de la calidad es también sinónimo de mejores rendimientos, por lo tanto, es importante, implementar tecnologías que al diagnosticar el problema, conocer sus causas, evaluarlas, analizarlas, sea posible proponer soluciones y alcanzar mejoras.

El Dr. Kaoru Ishikawa, indica que el control de calidad requiere de la utilización de métodos estadísticos, que los divide en tres categorías: elemental, intermedios y avanzados. El método estadístico elemental es indispensable para el control de calidad, y debe ser usado por todo el personal de la organización, desde los directores hasta el personal operativo.⁴

Siete son las herramientas que constituyen el método estadístico elemental. Estas son: Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa – Efecto, Estratificación, Hoja de Verificación, Histograma, Diagrama de Dispersión, Gráficas y Cuadros de Control.

De estas siete herramientas dos de las técnicas que más se utilizan para analizar problemas, son el diagrama causa-efecto; que es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema, o como lo expresa Hitoshi Kume, es el diagrama que muestra la relación entre una característica de calidad y los factores que la afectan.⁷

Este diagrama se lo conoce también como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado y se utiliza en las fases de diagnóstico y solución de la causa. La segunda herramienta que complementa este diagrama con un análisis posterior es el Diagrama de Vilfredo Pareto, mediante este diagrama se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia con la aplicación de los conceptos pocos vitales, muchos triviales, que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos.

Entre tanto, en el campo del control de la calidad, el Dr. Joseph M. Juran aplicó el método del diagrama como fórmula para clasificar los problemas de calidad en los pocos vitales y los muchos triviales, y llamó este método análisis de Pareto, y señaló que, en

⁷ Kume, Hitoshi, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Grupo Editorial Norma, 2002.

muchos casos, la mayoría de los defectos y de su costo se deben a un número relativamente pequeño de causas.⁷

1.3. Control Estadístico de Procesos

El control estadístico de procesos, es otra herramienta, que esencialmente, trata de minimizar la producción de unidades defectuosas reduciendo el tiempo que transcurre entre la ocurrencia y la detección de algún desajuste en el proceso de fabricación.⁶

Es por esto, que la falta de control estadístico durante el proceso, es una de las causas principales que provoca problemas de calidad en el producto terminado, en donde, más allá de recopilar los datos, es importante analizarlos para conocer su comportamiento y así indicar las causas y proponer planes de acción para disminuir esta variabilidad en caso que existiera.

Esta claro, que todos los procesos están sujetos a ciertos grados de variabilidad, por tal motivo es necesario distinguir entre las variaciones por causas comunes y por causas especiales, desarrollando una herramienta simple pero eficaz para discriminarlas, esto se consigue con el Gráfico de control, el cual fue propuesto por primera vez por Walter A. Shewhart.

Las causas normales o comunes de variación dependen de las características propias de cada proceso, constituyen el 85% de la variación, permanecen siempre dentro del sistema y requieren solución a nivel gerencial.⁸

Las variaciones debido a las causas comunes son inevitables en el proceso, aún si la operación se realiza usando materia prima y métodos estandarizados.⁷

Las causas imputables o especiales, dependen de fallas concretas del equipo o de la gente, pero constituyen sólo el 15% de la variación. No obstante deben ser localizadas y corregidas inmediatamente.⁸

⁸ Shewhart, Walter A., Métodos Estadísticos desde el punto de vista del control de calidad, Unabridged Dover, 1986.

La variación debida a causas especiales significa que hay factores significativos que pueden ser investigados y no se pueden pasar por alto, ya que pueden ser causados por la no aplicación de ciertos estándares o por la aplicación de estándares inapropiados.⁷

Se dice que un proceso está funcionando bajo control estadístico cuando las únicas causas de variación son causas comunes (normales). Esto significa que todas las mediciones se encuentran dentro de los límites de variación normal, los cuales se determinan usualmente, sumando y restando tres desviaciones estándar al promedio de esas mediciones.

Las causas comunes de variación se comportan como un sistema constante de causas totalmente aleatorias. Aún cuando los valores individualmente medidos son todos diferentes, como grupo, ellos tienden a formar un patrón que puede describirse como una distribución.

Cuando en un sistema sólo existen causas comunes de variación, el proceso forma una distribución que es estable a través del tiempo y además predecible.

Por el otro lado, cuando en el proceso existen causas especiales de variación, la distribución del proceso no es estable a través del tiempo y toma cualquier forma lo que la convierte en una distribución impredecible.

El proceso, en primer lugar, debe controlarse estadísticamente, detectando y eliminando las causas especiales (imputables) de variación. Posteriormente se puede predecir su funcionamiento y determinar su capacidad para satisfacer las expectativas de los consumidores.

El objetivo de un sistema de control de procesos es el de proporcionar una señal estadística cuando aparezcan causas de variación imputables. Una señal de este tipo puede adelantar la toma oportuna de una medida adecuada para eliminar estas causas imputables.⁷

El control estadístico de procesos es un medio por el cual un operario o directivo puede determinar si un proceso genera “salidas” que se ajustan a las especificaciones y si es probable que los siga generando. Consigue esto midiendo parámetros claves de una pequeña muestra de las “salidas” generadas a intervalos, mientras está en marcha el proceso.

Por lo tanto, el control estadístico de procesos representa un planteamiento preventivo del proceso de fabricación, que permite ahorro de recursos financieros y crea valor para la empresa.

En un entorno de control estadístico de procesos, la calidad de la producción se asegura concentrándose en el diseño y en la operación, en lugar de esperar a que se haya generado la salida del proceso, es decir el producto, para pasar a inspeccionarlo y a clasificarlo.

La implantación de la herramienta Control Estadístico de Procesos ofrece ventajas significativas para el proceso y la empresa que lo implementa, ya que reduce la cantidad de “salidas” que no se ajustan a las especificaciones.

Por otro lado, la concentración en el proceso, más que en la inspección posterior del mismo, reduce la cantidad de tiempo perdido y materiales gastados en reprocesos, reduciendo, asimismo, el trabajo de inspección requerido, y mejorando la calidad del entorno de trabajo.

1.4. Gráfica de control $\bar{X}$ -R

En los procesos de producción, una de las gráficas de control generalmente utilizadas es la gráfica $\bar{X}$ -R, ésta se usa para controlar y analizar un proceso en el cual la característica de calidad del producto que se está midiendo toma valores continuos.

Para el caso específico del proceso de impresión de litografía, la característica a controlar es la densidad del color, ya que ésta es la variable que genera mayor cantidad de información sobre el proceso.

En las gráficas de control, $\bar{X}$ representa un valor promedio de un subgrupo y R representa el rango del mismo. Una gráfica R se usa generalmente en combinación con una gráfica $\bar{X}$ para controlar la variación dentro del subgrupo.

Lo más importante en el control del proceso es captar su estado de manera precisa, leyendo la gráfica de control y rápidamente tomar acciones apropiadas cuando se encuentre algo anormal en el proceso.

El estado controlado del proceso, es el estado en el cual se puede considerar estable, es decir, el promedio y la variación del proceso no cambian. Si un proceso está o no controlado se juzga según la tendencia de los puntos sobre la gráfica de control.

La organización de los subgrupos es la parte más importante de la preparación de una gráfica de control y determina su efectividad. La organización inapropiada de los subgrupos tiene como resultado una gráfica inútil.

Para esto, la operación debe realizarse casi en las mismas condiciones, y los datos recogidos a lo largo de un periodo de tiempo relativamente corto, deben agruparse.

1.5. Principio de medición del Densitómetro

Durante el proceso de impresión, el control del color y su estabilidad durante la tirada exige herramientas que permitan ir más allá del simple enjuiciamiento visual.

El control visual del entintado y por supuesto del color es limitado e insuficiente debido por ejemplo a las condiciones de iluminación, a la influencia del color circundante y a la percepción del color, que varía de persona a persona y aún en la misma persona.

Las mediciones son extremadamente necesarias para el control del proceso de impresión, ya que tienden a disminuir toda la valoración subjetiva, alertando además sobre cualquier desviación del entintado mucho antes de que la vista del observador pueda apreciarla. Se requiere entonces, un instrumento que identifique con precisión un color al medirlo, un instrumento que distinga un color de todos los otros y le asigne un valor numérico.

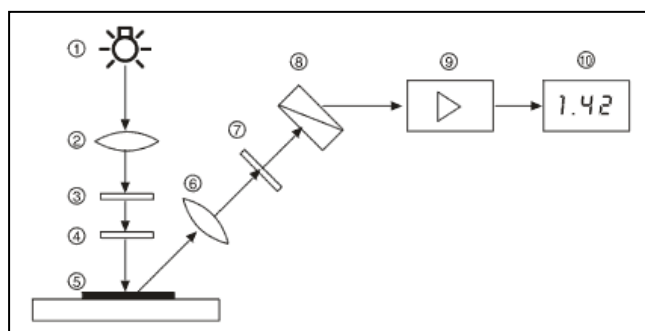
Uno de esos instrumentos o herramientas de control del color más importante es el densitómetro de reflexión y las tiras o barras de control de entintado. El densitómetro permite evaluar y determinar entre otros criterios, los siguientes: espesor de la capa de tinta (densidad), ganancia de punto (valor tonal) y detalle en las sombras (contraste).

El densitómetro de reflexión es un instrumento fotoelectrónico que mide el valor de la luz incidente reflejada de la superficie de un sustrato, tal como la tinta sobre el papel. La medición con un densitómetro se parece mucho al principio que utiliza el impresor. La figura 1.3 muestra esquemáticamente el funcionamiento de un densitómetro:

La luz de una fuente luminosa **(1)** incide, a través de un sistema de lentes **(2)**, sobre la superficie impresa. Según el espesor de la capa de tinta y su pigmentación **(5)** se absorbe parte de la luz. El porcentaje de luz no absorbido es reflejado por la superficie del material impreso.

Un sistema de lentes **(6)** recoge los rayos luminosos que emergen de la capa de tinta en un ángulo de 45° con relación al rayo de medición y los conduce a un receptor (fotodiodo) **(8)**. La cantidad de luz recibida por el fotodiodo es transformada en energía eléctrica. El equipo electrónico **(9)** compara ahora esta corriente de medición con un valor de referencia (reflexión de un "blanco absoluto").

La diferencia es la base para el cálculo del comportamiento de absorción de la capa de tinta medida, es decir, en la pantalla **(10)** se indica como resultado la densidad del color medido.



1. Fuente luminosa
2. Sistema de lentes
3. Filtro de polarización
4. Filtro de color
5. Objeto de la medición
6. Sistema de lentes
7. Filtro de polarización
8. Receptor (fotodiodo)
9. Equipo electrónico
10. Pantalla

Figura 1.4: Principio de medición de un densitómetro

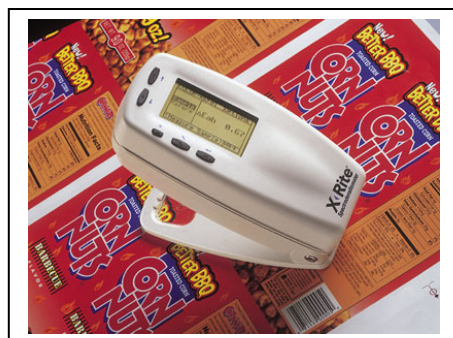


Figura 1.5: Densitómetro

La densidad es la capacidad de un material (tinta) para absorber luz, cuanto más oscuro sea éste (cuanto más gruesa sea una capa de tinta) más alta será la densidad.⁹

El densitómetro de reflexión mide el espesor de la capa de tinta de los colores Cyan (C), Magenta (M), Amarillo (Y), y Negro (K), en las áreas de tono sólido de la tira de control incorporada en el pliego impreso y expresa los valores de densidad numéricamente obteniéndose una variable para controlar durante el proceso.

1.6. La capacidad de los procesos

La capacidad de un proceso trata de medir la frecuencia con que los productos que se obtienen de un proceso cumplen con las especificaciones, y por tanto si la variabilidad de la característica figura entre los límites de especificación establecidos.

Los cálculos de capacidad deben realizarse cuando el proceso está en estado de control, es decir, una vez eliminadas las causas especiales de variación.

Las evaluaciones acerca de la capacidad de máquinas y procesos persiguen un objetivo claro: determinar la probabilidad de que los productos que se obtienen de una máquina o de un proceso sean aceptables, es decir, entre los límites de especificaciones inferior y superior.

Las tolerancias del producto deben ser fijadas al concebirlo en función de las necesidades y expectativas de los clientes y no en función de las características del proceso.

Dado un proceso y dadas unas especificaciones, se obtendrá que un proceso es capaz, si puede producir dentro de las especificaciones exigidas, es decir, si su capacidad es menor que las tolerancias.

Para poder comparar estas dos características se define un índice, el índice de capacidad, que es una medida de lo que se puede conseguir con el proceso teniendo en cuenta las especificaciones.

⁹ Fandiño, José, Curso de Impresión Offset, Tecnografía, Bogotá, 2004

Así, el índice Cp, consiste en la capacidad que podría tener el proceso a corto plazo, en caso de que el mismo se encontrase centrado. El análisis de capacidad potencial del proceso no considera la ubicación o el centrado del proceso, por eso lleva el nombre de potencial, ya que no necesariamente la ubicación del proceso es la correcta. A continuación su fórmula;

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

El valor del Cp da una idea de la variabilidad transmitida por el proceso, si el $C_p > 1$ se dice que el proceso es capaz; si por el contrario, $C_p < 1$ se dice que no es capaz de cumplir con las especificaciones.

En general, es preferible que el Cp sea superior a 1, ya que aquellos procesos con Cp en torno a 1 han de ser vigilados rigurosamente ya que pequeños descentramientos respecto del valor nominal pueden ocasionar la aparición de un número elevado de productos defectuosos.

La capacidad real del proceso, Cpk, considera las dos especificaciones, la variación y el centrado del proceso. Por lo tanto, consiste, en el valor mínimo entre el índice de capacidad superior Cps y el índice de capacidad inferior Cpi.

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Así, tenemos que $C_{pk} = \min(C_{pi}, C_{ps})$.

Una vez que el proceso se encuentra en estado de control se pueden comenzar a realizar los diversos cálculos de los índices de capacidad. A medida que se van aplicando las medidas correctivas, que persiguen el centrado de la distribución al valor óptimo que se quiere lograr y la minimización de la dispersión de muestras alrededor de la media, se conseguirá disminuir la desviación típica σ de tal manera que los índices de capacidad aumentarán.

Esto significa que la mayor parte de la distribución cabrá de forma holgada dentro del intervalo de las especificaciones, y de esta forma, se podrá reducir paulatinamente el intervalo de tolerancias, manteniendo aceptables los índices de capacidad.

1.7. Diseño de Experimentos

El diseño de experimentos (DDE), aporta una metodología para disminuir la variabilidad de los productos y procesos, solucionando de esta manera el problema que se genera cuando un proceso no es capaz.

Mientras el control estadístico de procesos actúa durante la realización del proceso, manteniéndolo bajo control, el diseño de experimentos se adelanta al proceso, actúa durante el diseño del producto, optimizándolo, por lo que constituye, una herramienta preventiva de un enorme interés en la actualidad, dada la tendencia en implantar la calidad en las etapas de planificación y diseño de productos.

Con el diseño de experimentos, se entra en la etapa del diseño o mejora de productos y procesos con el objetivo de reducir la variabilidad en la variable respuesta que interesa. Para ello es importante identificar primero qué factores afectan a esa respuesta y después obtener un modelo de la respuesta y de la desviación típica σ en función de las variables significativas.

El diseño de experimentos es una valiosa herramienta para tener una mejora apreciable de la calidad, mediante un proceso de experimentación con diferentes valores de los factores claves que afectan la variable respuesta de los procesos sometidos a estudio.

Es así que el diseño de experimentos, permite lograr dos objetivos: La detección, es decir, identificar qué factores de entre todos los técnicamente posibles son las fuentes principales de variabilidad en la característica elegida que garantiza la calidad del producto; y el modelado, ya que una vez identificados los factores que influyen, se determina a que valores deben ajustarse para que la característica de calidad deseada logre las especificaciones esperadas con la mínima variabilidad.

1.8. Costos de Calidad

El control de los procesos, permite a las empresas competir en cuanto a costos de producción y por lo tanto en cuanto a precios.¹⁰

¹⁰ Lefcovich, Mauricio, Control y Reducción de Costos mediante el Control Estadístico de Proceso, 2003

Si se gestiona correctamente, puede tener un impacto positivo sobre la moral de los empleados, ya que a nadie le gusta reelaborar o repetir procesos que no se controlaron adecuadamente en un primer momento.¹

Algunos autores defienden que cada vez que un problema de calidad pasa a una fase siguiente del proceso de introducción de producto, la pérdida de beneficios que provocará se multiplica por diez.¹¹

Es obvio, que conforme el proyecto avanza, más son los departamentos implicados en el proceso y mayor el trabajo que representa volver a una fase anterior.

Es así que, Feigenbaum como creador del concepto control total de calidad, sostiene que la calidad no solo es responsable del departamento de producción, sino que se requiere de toda la empresa y de todos los empleados para poder lograrla. Para así construir la calidad desde las etapas iniciales y no cuando ya está todo hecho.¹²

Es en esta etapa que Feigenbaum, realiza una clasificación de los costos relacionados con la calidad de los productos, y los define como aquellos costos que una empresa necesita invertir de cierta forma para brindar al cliente un producto de calidad.

De acuerdo con su origen estos costos se dividen en: costos de prevención; son aquellos en los que se incurre para evitar fallas que pueden originar más costos.

Los costos de planeación, que están relacionados con la capacitación, la revisión de nuevos productos, la generación de reportes de calidad, y las inversiones en proyectos de mejora, entre otros.

Los costos de reevaluación, que se llevan a cabo al medir las condiciones del producto en todas sus etapas de producción. Dentro de estos se consideran algunos conceptos como: inspección de materias primas, reevaluación de inventarios, inspección y pruebas del proceso y producto.

¹¹ Barba, Enric, Boix, Francesc, Cuatrecasas, Lluís, Seis Sigma, Gestión 2000, Barcelona 2000

¹² Feigenbaum, Armand D., Control Total de la Calidad, McGraw – Hill, 1991.

Los costos de fallas internas; son los generados durante la operación hasta antes de que el producto sea embarcado, por ejemplo: desperdicios, reproceso, pruebas, fallas de equipo, y pérdidas por rendimientos.

Y por último, los costos de fallas externas; son los costos que se generan cuando el producto ya fue embarcado, por ejemplo: ajuste de precio por reclamaciones, retorno de productos, descuentos y cargos por garantía.

Por tanto, aún en el caso de que una empresa se encuentre en situación “ideal”, debe prestarse atención a los costos de no calidad.

Es así que, la adopción de medidas preventivas como el control estadístico de procesos o los estudios de capacidad de proceso, y el diseño de experimentos se convierten en herramientas de vital utilización.

Se concluye por todo esto, que en el mercado actual no basta con asegurar la calidad del producto, sino que debe obtenerse al costo más bajo posible, teniendo en cuenta también la evaluación financiera de una compañía, ya que el resultado de indicadores como; el rendimiento sobre los activos (ROA), el valor agregado por empleado (VAE), la participación en el mercado y el porcentaje de satisfacción del cliente, demuestran el valor que tiene una empresa en términos de productividad y competitividad.¹⁰

CAPÍTULO 2

2. CARACTERIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO. DIAGNÓSTICO. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA EMPRESA.

2.1. Antecedentes

La empresa objeto de estudio, es una imprenta que se desenvuelve en el medio gráfico, y que se dedica a la venta, producción y distribución de materiales impresos en todo tipo de papel y cartulina. Tiene dividida su línea de producción en dos secciones importantes; la primera es la línea de formularios continuos, que se dedica a la impresión de todo tipo de facturas, comprobantes de ingresos, notas de ventas, rollos y cualquier otro tipo de impresión cuya característica sea la del papel continuo.

La segunda línea de producción y la más compleja porque tiene más procesos y más controles que la línea anterior es la de litografía, en esta sección se imprimen, todo tipo de trabajo publicitario o industrial tales como, tarjetas de presentación, folletos, cajas para empaque, etiquetas y cualquier otro tipo de impresión cuya función sea para la publicidad o para el empaque industrial.

La empresa es de administración familiar cuyas socias fundadoras son la Presidente y la Gerente General de la compañía; tienen a su cargo a aproximadamente 80 personas, en una planta ubicada en la ciudad de Guayaquil con alrededor de 30 máquinas.

El proceso de las dos líneas de producción es del tipo seriada mediana, cuyos trabajos no se repiten de forma periódica con lotes de productos limitados. Existen dos turnos de trabajo de doce horas cada uno, y el tipo de producción es bajo pedido.

Desde el año 2004, la compañía tiene su sistema de gestión de calidad certificado bajo la Norma ISO 9001:2000, para los procesos de venta, producción y despacho de sus productos en las líneas de formas continuas y litografía.

2.1.1. Los Clientes

Sus clientes son generalmente empresas que realizan sus pedidos en forma sistemática; los cuales están clasificados según el tipo de exigencia de calidad en tres tipos A (Estricto), B (Normal), C (Flexible).

Los Clientes tipo A; son laboratorios farmacéuticos, e industrias de actividad alimenticia, cuyos estándares de calidad son muy exigentes, ya que son clientes que sólo aceptan el color de impresión conforme al color pantone o a la muestra aprobada originalmente, que no aceptan variación de tonos más allá de ± 0.03 puntos de densidad del color aprobado, exigen que el empaque, donde van su productos, sea impecable y aceptan sólo la cantidad exacta en sus despachos.

Los Clientes tipo B; son empresas comerciales y de distribución de productos, que no deben cumplir con estándares corporativos y por lo tanto son aquellos clientes que aceptan repintes menores en la impresión, que aceptan variación de tonos de ± 0.05 puntos de densidad del color aprobado, que exigen que el empaque, en donde va su producto sea, impecable y que aceptan excesos o faltantes de hasta el $\pm 10\%$ en sus despachos.

Los Clientes tipo C; son aquellos clientes que aceptan repintes mayores aunque afecten su presentación, aceptan la variación de tonos de ± 0.07 puntos de densidad del color aprobado, que exigen que el empaque, donde va su producto, sea impecable, y que aceptan cantidad faltante.

La clasificación de cada cliente es realizada por el departamento de ventas, y su categoría es comunicada a los siguientes procesos a través de la sigla correspondiente (A,B,C) descrita en cada Orden de Producción, junto al nombre del cliente.

De esta manera el departamento de control de calidad, reduce o aumenta el nivel de inspección y el tamaño de la muestra según la exigencia del cliente, de tal forma que aunque los procesos se mantienen constantes para todos los tipos de clientes, los controles varían según su exigencia.

2.1.2. La Competencia

En general, las compañías del sector gráfico dividen su mercado en tres grandes estratos, el mercado de formularios continuos, el de productos publicitarios, y el sector industrial.

La competencia directa de la compañía, es toda aquella empresa gráfica de producción mediana y grande que dirige sus productos a los mercados del formulario continuo y del industrial.

Debido a que el mercado del sector gráfico cada vez se reduce más, puesto que este tiene que dividirse entre más compañías¹³, la diferenciación que cada una pueda ofrecer al cliente es de mucha importancia, es por esto que en muchos casos, las compañías de la competencia ofrecen sus productos con un precio que iguala e inclusive es menor al costo de producción con el fin de obtener un cliente, logrando una competencia desleal en el mercado. Asimismo, la asesoría y el servicio postventa que ofrezca la compañía a sus clientes, permite que un pedido se gane o se pierda.

La maquinaria con que cuenta la competencia, en muchas ocasiones es muy parecida entre sí con marcas reconocidas en el mercado como Heidelberg, Roland y Harris.

En algunas empresas, existen ciertos procesos como el barnizado y la manufactura que son tercerizados ya que no generan mucha rentabilidad.

No existen institutos especializados en el sector gráfico que ofrezcan temas relacionados a la industria, por lo que la mayoría del personal ha adquirido sus conocimientos basados en la experiencia.

2.1.3. Los Proveedores

La materia prima y los materiales utilizados durante todo el proceso, son suministrados por proveedores locales o extranjeros que han sido previamente evaluados y calificados,

¹³ Casals, Richard, "Actitudes frente a un exceso de capacidad del sector", Adelante Revista Gráfica No. 90 Edición Sexta, 2006, pp.24 - 25

con el fin de conocer si son capaces de cumplir con los requerimientos de la empresa tanto en calidad del producto como en la calidad del servicio.

Asimismo, los proveedores que suministran insumos al sector gráfico son los mismos para todos, por lo que la mayoría de las compañías del sector comparten proveedores comunes.

Existen periodos a nivel mundial, en donde el papel se vuelve escaso, debido a que los molinos dejan de producir papel, lo que hace que las imprentas incrementen su nivel de inventario para evitar el aumento de precios de la materia prima.

2.1.4. La Demanda

Mensualmente el departamento de ventas genera un pronóstico de la demanda de los diferentes tipos de papeles y cartulinas, de tal forma que este plan le sirva al departamento de compras para que pueda realizar sus negociaciones con los proveedores y defina su estrategia de abastecimiento.

Aunque son muy pocos los clientes que proyectan sus consumos de impresiones gráficas, el departamento de ventas trimestralmente planifica con sus mejores clientes en facturación las necesidades de consumo en cada tipo de papel.

En algunos casos esta proyección puede variar debido a que los clientes cambian de estrategia de mercado generando inconvenientes a las imprentas al momento de realizar las compras, ya que adquieren materias primas en un gramaje diferente al que el mercado solicita, provocando en algunas ocasiones sobreinventario o por el contrario pérdida de órdenes por falta de material.

2.1.5. El Proceso

El proceso de producción empieza, en el momento en que el cliente realiza la aprobación tanto del arte o diseño que desea imprimir, como del precio presentado en la cotización; en esta aprobación, se dejan especificados los requerimientos que el cliente tiene para aceptar el producto terminado en el momento del despacho.

En seguida, el arte en forma digital pasa al siguiente proceso, que es el de diseño y pre-prensa, en este proceso se realiza una revisión total del arte digital mediante la utilización de

programas específicos, con el fin de adecuarlo a los formatos de impresión de cada prensa, al mismo tiempo se verifica visualmente la composición o la cantidad de colores que tiene cada arte digital.

Un diseño o arte puede estar compuesto por cuatro colores básicos o también llamados en la industria gráfica colores procesos (cyan, magenta, amarillo y negro) los que al mezclarse uno con otro en diferentes proporciones dan como resultado una gama de colores. Asimismo, el diseño puede también tener colores específicos o directos, denominados pantones tales como el dorado, el plateado o colores que no resultan de la mezcla de los cuatro colores anteriores.

En el proceso de arte y pre-prensa es importante que se identifiquen claramente la cantidad de colores que componen al arte, los que pueden ser de 1 a 6 colores, ya que si existiera un error al definir las especificaciones, este generará mayores errores a mayores costos en los siguientes procesos.

Una vez que se ha preparado el diseño o arte al formato de impresión requerido, se procede a realizar una impresión en películas de acetato. El número de películas a imprimirse dependerá de la cantidad de colores que tenga el diseño, por lo tanto si un arte tiene 6 colores, se procederán a imprimir 6 películas, las que representarían una al color cyan, otra al color magenta, otra al color amarillo, una cuarta al color negro, y dos adicionales que representarían los dos colores directos o pantones.

La impresión de estas películas es en formato negativo, comparable con una imagen parecida al de una radiografía, es decir, en color blanco y negro, el control visual de estas películas se lo realiza contra una mesa de luz, en la que se revisa, el porcentaje de trama de cada elemento, y además cualquier tipo de error ya sea de texto o de color que pudiera tener dicha impresión.

A continuación, cada película pasa al siguiente proceso en donde es expuesta a una insoladora que se encuentra en una cámara oscura, esta exposición va desde niveles de 20 a 30 luxes para copiar las imágenes que están plasmadas en cada película, a unas planchas de aluminio, que tienen el mismo tamaño que el rodillo de cada prensa en la que se va a imprimir el trabajo. De la misma forma, se revelan tantas planchas como películas genere el proceso, la que en este caso serían 6.

Una vez que se ha revelado cada plancha, se procede a compararla visualmente con el diseño aprobado por el cliente, para luego entregarla al proceso de impresión, que junto con el papel seleccionado, tanto en material como en gramaje, y las tintas correspondientes a cada plancha, son montadas en la respectiva prensa para proceder a imprimir el trabajo cotizado.

Dependiendo el tipo de trabajo que se cotizó en la venta, se requiere un determinado número de procesos al que éste debe ser expuesto, los cuales pueden ser: Conversión de Materia Prima, preparación de tintas, corte, fondeo, impresión, barnizado, troquelado, plegado y pegado para el caso de cajas, corte de producto terminado y manufactura en la que se realizan procesos cortos como son, numeración, intercalado y pegado.

En el diagrama OPERIN (Anexo A), se expresa brevemente la línea de producción de litografía y los procesos que la conforman, asimismo, en la figura 2.1, se describe gráficamente el flujo de proceso de producción.

Durante cada proceso, el supervisor de área junto con el departamento de control de calidad, realizan inspecciones visuales de las características del producto y las compara con el diseño inicial aprobado por el cliente, de tal forma que se evite cualquier error y el producto cumpla, en cada proceso, con las especificaciones requeridas por el cliente.

Una vez terminado el proceso de producción, se aplican técnicas de muestreos para revisar el trabajo y proceder a empacarlo y embalarlo, y así enviar el producto terminado al lugar acordado con el cliente.

Sin embargo, a pesar de los controles que se realizan en cada proceso, en el último año se han recibido varios reclamos por parte de los clientes, debido a inconformidades en la calidad del producto, que en algunos casos ha resultado en devoluciones de producto terminado, reprocesos, incremento de los costos de producción y hasta en pérdida de clientes, provocando preocupación de la alta dirección, ya que se deduce inicialmente, que es debido a la falta de una metodología clara para controlar el producto durante el proceso de producción.

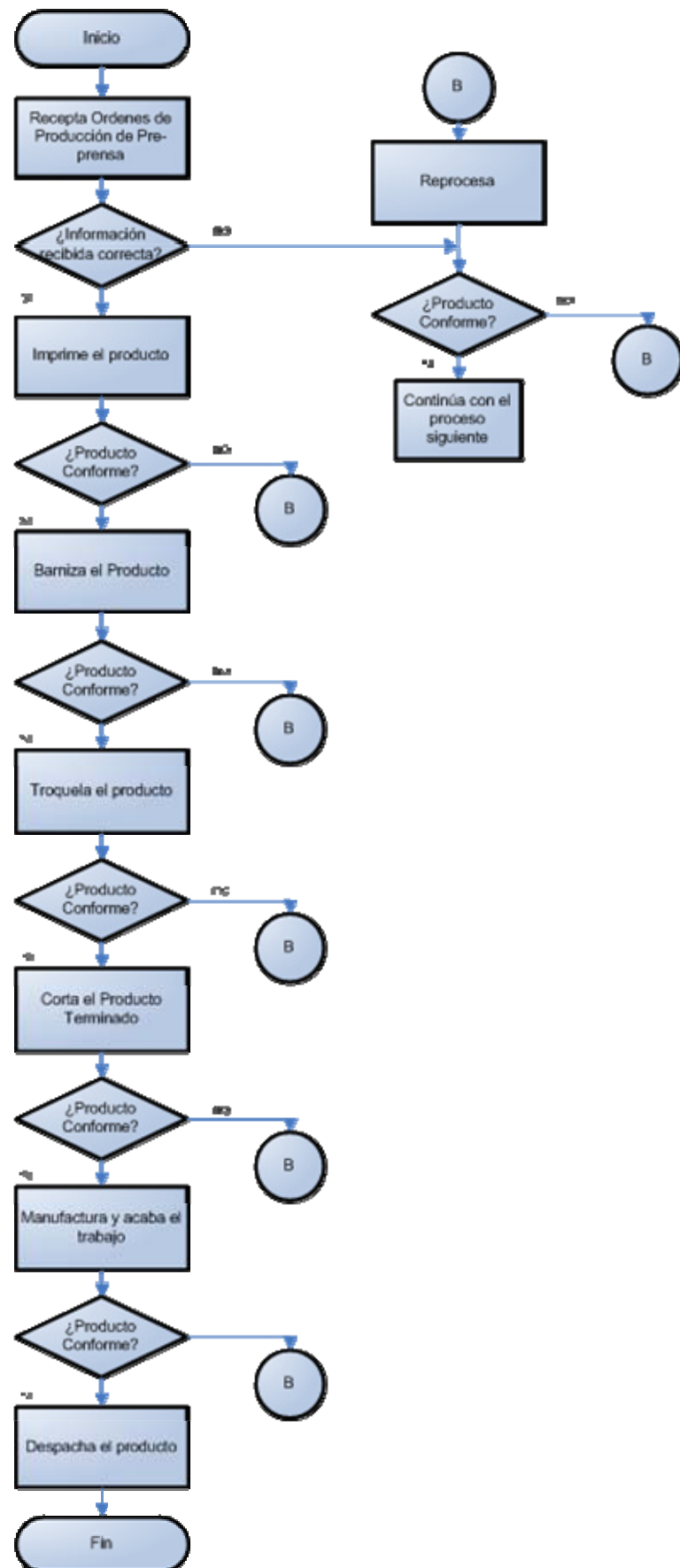


Figura 2.1: Diagrama de flujo del proceso de impresión de Litografía

2.2. Diagnóstico del proceso de Producción de Litografía

Para cuantificar la magnitud del problema que enfrenta actualmente la compañía objeto de estudio, se procedió a realizar el levantamiento de datos a fin de determinar las áreas que han tenido más errores que provocan reprocesos por motivos de devoluciones de producto, generando a su vez incremento en los costos de producción, y así establecer en qué parte del proceso se esta fallando.

2.3. Diagrama de Pareto

Para realizar este análisis se decidió utilizar la herramienta de Diagrama de Pareto (Tabla 2.1), en la que se registró el número de devoluciones que se han recibido en el año, además del área o proceso que generó el error, así un error de especificaciones en la orden de producción se debe al proceso de ventas, un error por intensidad de tonos se debe al proceso de diseño, un error de manchas o colores diferentes se debe al proceso de producción.

Se procede a identificar las áreas que más se repiten y aquellas que no tienen mucha frecuencia se las asigna dentro del rango de otros, de tal forma que se puede apreciar que el área que ha tenido más errores es el proceso de producción.

Tabla 2.1: Cantidad de devoluciones recibidas de Enero a Julio de 2007, por área

DEVOLUCIONES				
Áreas	Cantidad	Cant. Acum.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
Producción	45	45	75.0%	75.0%
Ventas	6	51	10.0%	85.0%
Pre-prensa	4	55	6.7%	91.7%
Cliente	4	59	6.7%	98.3%
Otros	1	60	1.7%	100.0%
TOTAL	60		100%	

Como se puede apreciar, el 75% de las devoluciones viene dado por problemas de producción, mientras que el 23.4% resulta de errores de otras áreas como es el caso de errores en la toma de pedidos por parte de ventas (10%), errores en el texto por parte de diseño (6.7%), e incluso errores que el cliente mismo genera por entregar malas especificaciones a la compañía (6.7%), en este caso puntual, las devoluciones no son aceptadas.

El objetivo de este análisis es determinar el proceso que más errores ha tenido y a su vez establecer los errores que han causado las devoluciones, de tal forma que se pueda aplicar una metodología adecuada al área con más problemas y así obtener en cada análisis el verdadero factor que influye en el incremento de costos de producción provocado por los reprocesos que generan las devoluciones.

El Diagrama de Pareto con la influencia por área se muestra en la (Figura 2.2).

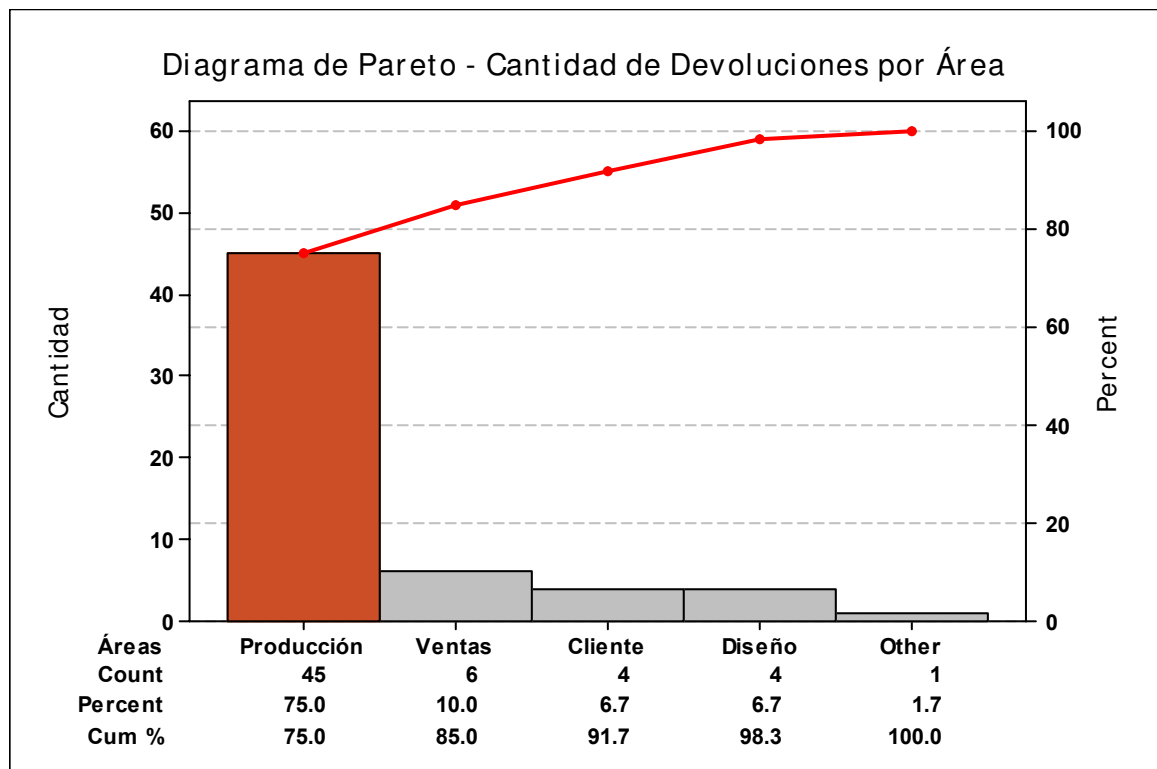


Figura 2.2: Diagrama de Pareto de las devoluciones recibidas por área

2.4. Diagrama Causa - Efecto

Una vez que se detectó el proceso que tiene más errores y por lo tanto más relación con las devoluciones que es el proceso de producción, se procede a utilizar una segunda herramienta que es el Diagrama Causa Efecto, con el fin de analizar en mayor detalle en qué parte del proceso de producción se están generando los problemas; por lo que se realiza una reunión de lluvia de ideas en la que se involucra a un grupo de expertos de las áreas de producción y de control de calidad, con el fin de conocer los motivos de las no conformidades detectadas y su influencia en el proceso, de tal forma que se pueda buscar, identificar y analizar las causas principales que provocan el problema, y se actúe sobre ellas.

El resultado de la reunión se presenta en la (Figura 2.3), como se puede observar en el diagrama causa-efecto, la mayor parte de las causas asignadas en el proceso de producción se concentran en la categoría método, siendo ésta según los expertos la de mayor incidencia en los problemas de errores y reprocesos por problemas de devolución, por consiguiente, una vez clasificadas las causas por cada tipo de categoría, se procede a calificar a cada una, para determinar aquella que tiene más peso en la categoría, y por lo tanto mayor incidencia en el problema.

En la Tabla 2.2, se presenta el resultado final del análisis del Ishikawa ponderado, en donde se empezó ponderando con el número 1 a la causa que se considera tiene más incidencia, y se continuó la puntuación en orden ascendente con las siguientes causas que se consideraban menos importantes, de tal forma que la causa que se considera tiene relación directa con el problema será considerada como la primera, obteniendo por lo tanto el menor puntaje, mientras que la causa que se considera tiene menor efecto en el problema será la que tiene el mayor puntaje.

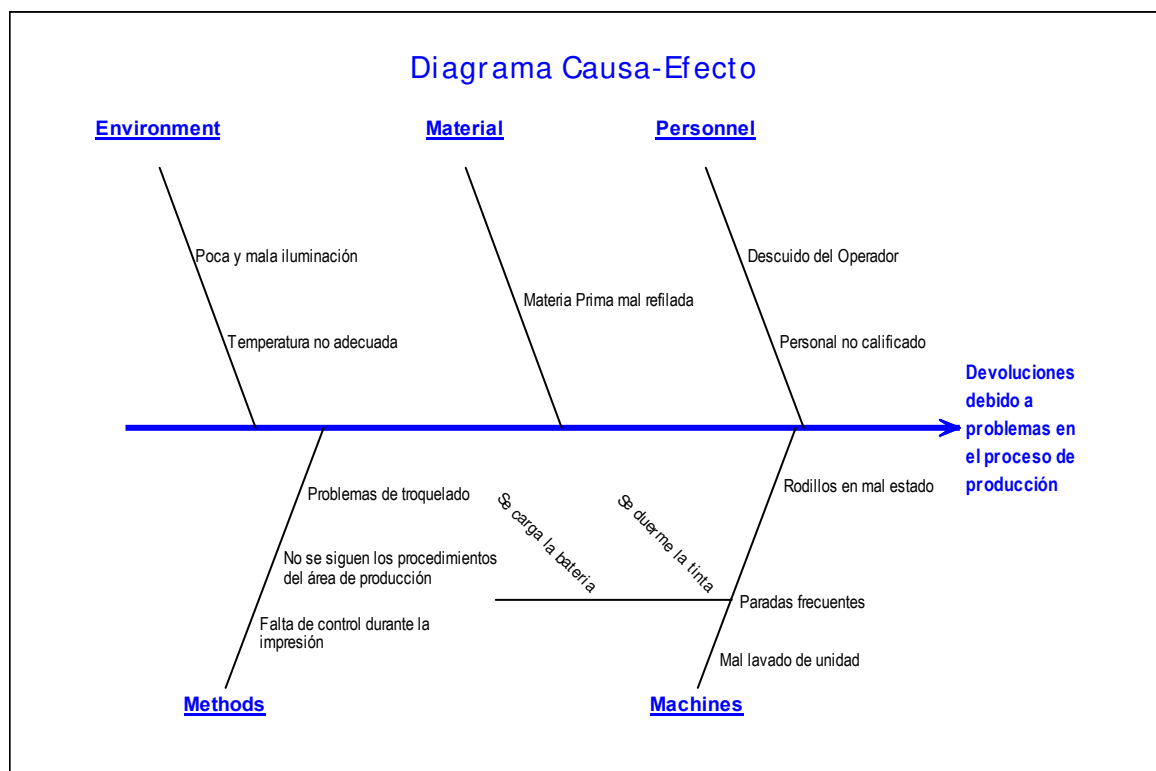


Figura 2.3: Diagrama causa-efecto del problema de devoluciones

Así con el valor asignado a cada causa según el criterio de cada experto, se obtiene una variante del Diagrama Causa Efecto denominado el Diagrama Ishikawa ponderado.

Es importante aclarar que, en esta herramienta, para que una causa sea considerada significativa y de influencia en el problema, el resultado del porcentaje de concordancia ($C\% = \text{cantidad de expertos a favor del criterio dominante} / \text{cantidad total de expertos participantes}$) debe tener un valor mayor o igual al 60%.

Tabla 2.2: Ponderación de las causas que provocan el problema de devoluciones

PROCESO DE PRODUCCIÓN								
	Motivos	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Total	C(%)
1	Falta de control durante la impresión	1	2	1	1	1	6	80%
2	No cumple con los procedimientos	2	1	2	3	2	10	60%
3	Poca y mala iluminación	4	3	3	5	3	18	60%
4	Descuido del Operador	3	4	4	4	4	19	80%
5	Personal no calificado	5	5	6	2	5	23	60%
6	Materia Prima mal refilada	6	8	5	6	6	31	60%
7	Rodillos en mal estado	7	6	7	9	7	36	60%
8	Paradas frecuentes	8	7	8	8	8	39	80%
9	Mal lavado de unidad	9	9	9	7	9	43	80%
10	Temperatura no adecuada	11	11	10	11	11	54	80%
11	Problemas de troquelado	10	10	11	10	10	51	80%
	TOTAL	66	66	66	66	66	330	

Experto 1 = Jefe de Producción Litografía

Experto 2 = Jefe Control de Calidad

Experto 3 = Supervisor de Producción

Experto 4 = Inspector de Calidad

Experto 5 = Jefe de Métodos

C (%) = Porcentaje de concordancia

Así se obtiene que la mayor causa que incide en el proceso de producción es la falta de control durante el proceso de impresión acompañada en segundo lugar por el no cumplimiento de los procedimientos, como estas causas tienen un porcentaje de concordancia mayor al 60% son consideradas causas relevantes y por lo tanto que inciden en el problema.

2.5. Coeficiente de Concordancia W de Kendall

Adicionalmente, se procede a utilizar como herramienta análisis, el coeficiente de concordancia W de Kendall 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, el valor de la W de Kendall puede tomar valores entre 0 (no concordancia) y 1 (concordancia completa), obteniendo lo siguiente;

Promedio de las selecciones: $\bar{X} = 30$

Suma de los cuadrados de los rangos;

$$S = \sum (R_j - \bar{R})^2$$

$$S = 2\,594$$

Cálculo de W;

$$W = 12 \cdot S / k^2 (N^3 - N)$$

$$W = 12 \cdot 2\,594 / 5^2 (11^3 - 11)$$

$$W = 0.943273$$

Cálculo del estadígrafo χ^2 , para concluir si se rechaza o se acepta la hipótesis nula H_0 , en donde,

H_0 : No hay concordancia de criterios; y,

H_1 : Hay concordancia de criterios

$$\chi^2 = k (N - 1) W$$

$$\chi^2 = 5 (11 - 1) 0.943273$$

$$\chi^2 = 47.16364$$

Como $\chi^2_{0.05;10} = 18.307$ (Anexo B - Teórica) y $\chi^2 = 47.16364$ (Práctica); por lo tanto se rechaza H_0 y se concluye que hay concordancia de criterios. Inclusive podría llevarse esta probabilidad de error hasta $\chi^2_{0.000001;10}$, y se llega a la misma conclusión.

2.6. Determinación de la Variable a medir

A partir del uso de las herramientas diagrama de Pareto, diagrama Causa-Efecto, y coeficiente de concordancia W de Kendall, se detectó que una de las causas de mayor impacto en los reprocesos producto de las devoluciones del producto terminado, es la falta de control durante el proceso de impresión.

Se procedió por lo tanto a recopilar la información de todas las devoluciones recibidas por la compañía en los últimos meses y se las clasificó en la Tabla 2.3 por motivo de devolución.

Asimismo cada devolución fue asignada a la prensa en la que fue realizado el trabajo, a fin de determinar la máquina que directa o indirectamente ha generado trabajos con problemas, y se implemente los controles necesarios, para que estos puedan ser usados en las otras prensas y a su vez en los otros procesos.

Tabla 2.3: Devoluciones recibidas por defecto y por máquina de Enero a Julio

Cuenta de C. Devolución	Máquina			
Motivo	GTO	PM 74	SM 74	Total general
Cliente no realizó pedido			2	2
Daño de cajas dobladas y quebradas			1	1
Desprendimiento de la tinta			5	5
Error de tipografía			1	1
Excedente de Producción		1		1
Falla en la numeración	1			1
Fallas en el pegado en el cierre automático			1	1
Inconformidad del Diseño	4	1		5
Manchas en la impresión			1	1
Materia Prima incorrecta	1			1
Medidas incorrectas		2	2	4
Problemas de embalaje		1	8	9
Problemas de Manufactura			1	1
Variación de Tonalidad	2	3	15	20
Fallas en el troquelado	3	1		4
Especificaciones mal indicadas			2	2
La orden no está completa		1		1
Total general	11	10	39	60

Como se puede apreciar en la tabla anterior, del total de devoluciones recibidas por la compañía por diferentes motivos aquel que tuvo mayor frecuencia fueron los que se debieron a problemas de variación de tonalidad.

Dentro del proceso de impresión existen algunas variables de control como son la conductividad, el nivel de pH, el porcentaje de alcohol, y la densidad de la tinta, ésta última varía dependiendo del color y del tipo de papel en el que se va a imprimir cada trabajo.

Existen también dentro del proceso de impresión atributos a controlar, como son; registro de impresión, tonalidad, y secado de la tinta, los que se van controlando a nivel visual.

Dentro de las variables que se controlan durante el proceso, la variable que es más importante es la densidad de la tinta, debido a que una variación fuera de los límites de especificación por cada color implica un reproceso total en el producto, lo que representa además de aumento de costos para la empresa, retraso en los siguientes procesos de producción y pérdida de tiempo por parte de los clientes.

El defecto “variación de la tonalidad” está directamente relacionado con la variable “densidad” de la tinta, por lo que se ratifica, que la variable más crítica dentro del proceso de impresión es la densidad.

De la misma forma, se identifica que la máquina que generó mayores problemas fue la Prensa SM 74, por lo que a partir de esta tabla se determina que el estudio se basará en encontrar un método que ayude a controlar y mejorar el proceso de impresión en la máquina SM 74 de la línea de litografía, a fin de disminuir los costos de producción que se generan por los reprocesos provenientes de las devoluciones de producto terminado.

2.7. Impacto Económico del estudio

Una vez identificada la máquina que genera mayores problemas de variación de tonalidad en los trabajos impresos, que provocan en muchas ocasiones las devoluciones del producto terminado, se procede a cuantificar en términos económicos los efectos que han generado los reprocesos del producto terminado.

Se procedió a costear cada devolución, clasificándola por tipo de defecto y por prensa que realizó el trabajo. Es así que se puede apreciar que existe relación entre el impacto económico que generaron las devoluciones recibidas con el número de devoluciones, ratificando por tanto, que aquellos trabajos que fueron impresos en la prensa SM 74, son los que tienen el mayor peso en las devoluciones, entre los que se distingue con el mayor impacto económico el motivo de la variación de tonalidad (\$13,018), valor que representa el 34.5% del total del costo de las devoluciones recibidas en la compañía por parte del cliente.

Tabla 2.4: Devoluciones valorizadas por defecto y por máquina de Enero a Julio

Suma de C. Devolución	Máquina			
Motivo	GTO	PM 74	SM 74	Total general
Cliente no realizó pedido			\$ 340.20	\$ 340.20
Daño de cajas dobladas y quebradas			\$ 2,607.41	\$ 2,607.41
Desprendimiento de la tinta			\$ 2,292.36	\$ 2,292.36
Error de tipografía			\$ 1,476.90	\$ 1,476.90
Excedente de Producción		\$ 307.23		\$ 307.23
Falla en la numeración	\$ 549.60			\$ 549.60
Fallas en el pegado en el cierre automático			\$ 664.18	\$ 664.18
Inconformidad del Diseño	\$ 439.02	\$ 31.95		\$ 470.97
Manchas en la impresión			\$ 768.57	\$ 768.57
Materia Prima incorrecta	\$ 24.00			\$ 24.00
Medidas incorrectas		\$ 2,692.80	\$ 1,868.99	\$ 4,561.79
Problemas de embalaje		\$ 97.16	\$ 3,626.15	\$ 3,723.30
Problemas de Manufactura			\$ 125.44	\$ 125.44
Variación de Tonalidad	\$ 252.00	\$ 526.55	\$ 13,018.03	\$ 13,796.58
Fallas en el troquelado	\$ 1,767.54	\$ 348.08		\$ 2,115.62
Especificaciones mal indicadas			\$ 1,752.04	\$ 1,752.04
La orden no está completa		\$ 2,110.00		\$ 2,110.00
Total general	\$ 3,032.16	\$ 6,113.76	\$ 28,540.26	\$ 37,686.18

Es a partir de estos datos recopilados que se concluye, que es importante, realizar la implementación de controles durante el proceso de impresión, ya que el hecho de que la compañía esté certificada con la Norma ISO 9001:2000, no asegura que los procesos estén libres de errores.

Adicionalmente la gran variedad de pedidos que ha recibido la compañía y la falta de estándares establecidos durante el proceso de impresión, han contribuido a que se generen productos defectuosos en los últimos meses, lo cual se demuestra al observar en los diagramas comparativos que la compañía ha sufrido un incremento en sus devoluciones con respecto al mismo periodo del año anterior.

El hecho que el motivo principal de las devoluciones sea por variación de la tonalidad, no es un buen indicador de que se estén realizando correctamente los controles durante el proceso, puesto que el “tono” es la carta de presentación de toda imprenta, y tener

problemas de este tipo durante el proceso, demanda de controles bastantes exigentes y de continuidad en la metodología implementada, más aún si la mayor parte de las devoluciones recibidas según lo analizado a través del uso de diagrama de Pareto, se deben al proceso de producción.

Aunque el problema de variación de la tonalidad se genera en las tres prensas, los controles que se aplicarán serán realizados en la máquina que genera mayores problemas, es decir en la prensa SM-74, en donde se detecta que las devoluciones recibidas representan el 34.5% del total del costo de las devoluciones.

Por lo tanto, al implementar el control estadístico durante el proceso de impresión, controlando la variable “densidad”, se estará contribuyendo con el control y la mejora de uno de los procesos fundamentales de la compañía, además se trabajará directamente con el problema de mayor impacto económico, lo que permitirá que los costos de producción que se generan por los reprocesos de las devoluciones del producto terminado disminuyan en forma paulatina, generando beneficios para la empresa y su imagen, logrando que se incremente la satisfacción de los clientes que solicitan los productos de la imprenta.

CAPÍTULO 3

3. SOLUCIONES PROYECTADAS

3.1. Control Estadístico de Procesos

En el área de administración de la producción es bien conocido que un producto, sujeto a un proceso, inevitablemente sufrirá variaciones. Lo importante de estas variaciones es reconocer cuáles pueden deberse a causas comunes o al azar y cuáles a causas especiales.

A partir de la información que generaron las herramientas de calidad, como el diagrama causa-efecto y el diagrama de Pareto, se identificó que una de las causas que influyó mayormente en las devoluciones del producto terminado, produciendo reprocesos y por consiguiente mayores costos de producción es la falta de control durante el proceso de impresión.

Por otro lado, se determinó también, que uno de los motivos dentro del proceso de impresión que se repetía con mayor frecuencia en las devoluciones del producto, fue la devolución por variación de la tonalidad, problema que está estrechamente relacionado con la variable “densidad” de la tinta.

En este capítulo se procederá a especificar cada una de las herramientas que se utilizarán, para monitorear el comportamiento de la variable “densidad” dentro del proceso de impresión, con el fin de identificar si está sujeta a causas comunes o especiales de variación, de tal forma que, con los resultados obtenidos se la logre controlar a fin de mejorar el proceso de impresión logrando disminuir el producto defectuoso y por lo tanto potenciales devoluciones resultantes del proceso.

Debido a que en la compañía no se ha implementado ningún tipo de control estadístico y por lo tanto, no se dispone de información histórica del comportamiento del proceso de impresión, se utilizará en primer lugar estadística inferencial de modo que a través de una muestra preliminar de una orden de producción activa, se estimarán los valores de μ y de σ de la población.

Con el fin de obtener el conocimiento necesario del proceso, es importante que el tamaño de la muestra sea lo suficientemente grande para que sea representativa de la población, y a la vez que la toma de la muestra no represente costos muy altos para la empresa, por lo que se decide utilizar una muestra de tamaño $n = 20$, donde cada muestra se compone de 4 lecturas.

El levantamiento de la información que se recopilará de la muestra seleccionada, se lo realizará en plantillas de registros diseñadas para el efecto (Anexo C).

Los valores de la densidad de la tinta, han sido establecidos dentro de unos rangos que están directamente relacionados con la calidad del papel, la lineatura de trama y la formulación de la tinta. Por lo tanto estos valores, cambian según el color y el tipo de papel utilizado; aunque, su variación no es muy dispersa entre cada tipo de papel.

A nivel internacional existe una tabla de estándares con los valores establecidos para cada color y para cada tipo de papel (Tabla 3.1).

La tabla 3.1, muestra los valores para los cuatro colores procesos, es decir, cyan (C), magenta (M), amarillo (Y), y negro (K), y para los tres grandes grupos de papeles y cartulinas, que son, con brillo, mates y sin brillo.

A continuación se representa la tabla con los valores estándares por color y tipo de papel.

Tabla 3.1: Valores recomendados de la densidad de la tinta a nivel mundial

RECOMENDACIONES (PROMEDIO) PARA ENTINTADO NORMAL					
Lineatura	Sustrato	Negro (K)	Cyan (C)	Magenta (M)	Amarillo (Y)
133	Recubiertos esmaltados de alto brillo	1.70	1.40	1.50	1.05
	Recubiertos brillantes y mates	1.60	1.30	1.40	1.00
	No recubiertos	1.40	1.10	1.20	0.90

Para discernir dentro de esta tabla, qué tipo de especificaciones deben utilizarse en el control estadístico, se procedió a realizar un levantamiento de información de los tipos de materia prima utilizada en las órdenes de producción de los últimos meses, a fin de establecer aquella que se consume con mayor frecuencia y proceder a aplicar en ésta la herramienta de control durante el proceso.

Como se puede apreciar en la (Figura 3.1), la mayor cantidad de órdenes de producción que se han trabajado, utilizaron un 29% el papel etiqueta, seguido por otros materiales varios, como cartulina y papel bond con un 23% y papel periódico con un 16%.

Por lo que a partir de este gráfico, se llega a la conclusión de que el tipo de materia prima, sobre el cual, se debe aplicar la técnica de control es el papel etiqueta.

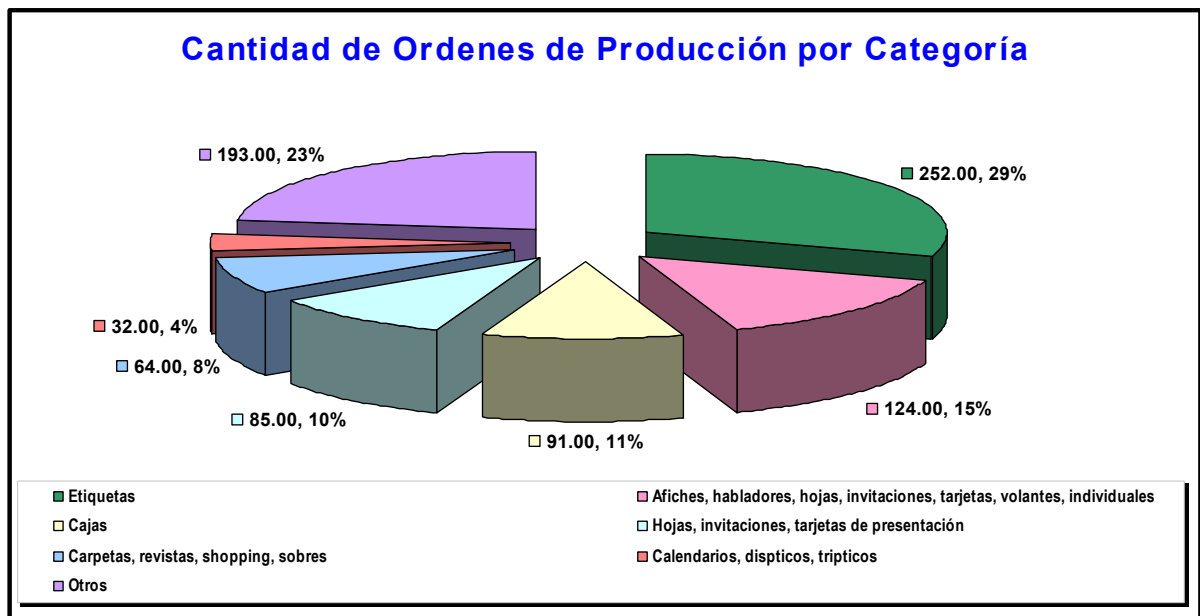


Figura 3.1: Cantidad de Ordenes de Producción por Categoría

Por consiguiente, para el caso de la densidad de la tinta de cada color, los valores de los límites de especificación son entonces aquellos que se recomiendan para papeles recubiertos brillantes y mates (Tabla 3.1).

A nivel general, el hecho de que un proceso esté bajo control estadístico no implica que cumpla con las especificaciones requeridas por el cliente.

Los límites de control se guían por la variabilidad natural del proceso (medida mediante σ). Los límites de especificación se determinan externamente, que en este caso, han sido establecidos por estándares internacionales.

El monitoreo del comportamiento de la variable “densidad” puede realizarse a través de tres gráficas de control;

- 1) La gráfica $\bar{X}$ -R, que es utilizada cuando los datos pueden ser divididos en subgrupos racionales de igual tamaño.
- 2) La gráfica $\bar{X}$ -S, cuando el tamaño de la muestra n varía
- 3) La gráfica I-MR cuando el tamaño de la muestra $n = 1$

La gráfica de control que se aplicará para analizar el comportamiento de la variable “densidad”, será por lo tanto, la gráfica $\bar{X}$ -R, ya que se desea evaluar la localización y la dispersión (variación) dentro del proceso de impresión. Además, que esta gráfica es utilizada para controlar y analizar un proceso en donde los valores de las variables son continuos y los tamaños de las muestras son constantes.

3.2. Cálculo de los límites de Control de Prueba

Una vez establecida la gráfica de control que se piensa emplear, se procede a calcular los límites de control de prueba para cada uno de los cuatro colores procesos, que son aquellos colores básicos que se utilizan con mayor frecuencia en la industria gráfica, estos son: cyan (C), magenta (M), amarillo (Y), y negro (K). Así se procede a construir la gráfica de control de promedios $\bar{X}$ y rangos R para los cuatro colores y poder conocer si el proceso se encuentra bajo control estadístico.

Tabla 3.2: Valores recopilados de la densidad de la tinta del color cyan

SUBGRUPO N°	DENSIDAD (CYAN)				PROMEDIO X	MINIMO	MAXIMO	RANGO R
	X1	X2	X3	X4				
1	1.28	1.30	1.34	1.35	1.3175	1.280	1.350	0.070
2	1.29	1.31	1.24	1.28	1.2800	1.240	1.310	0.070
3	1.29	1.30	1.34	1.35	1.3200	1.290	1.350	0.060
4	1.27	1.29	1.34	1.36	1.3150	1.270	1.360	0.090
5	1.25	1.33	1.27	1.29	1.2850	1.250	1.330	0.080
6	1.28	1.30	1.30	1.33	1.3025	1.280	1.330	0.050
7	1.30	1.35	1.28	1.30	1.3075	1.280	1.350	0.070
8	1.27	1.31	1.30	1.33	1.3025	1.270	1.330	0.060
9	1.29	1.31	1.30	1.33	1.3075	1.290	1.330	0.040
10	1.28	1.31	1.24	1.29	1.2800	1.240	1.310	0.070
11	1.28	1.31	1.30	1.33	1.3050	1.280	1.330	0.050
12	1.29	1.32	1.34	1.35	1.3250	1.290	1.350	0.060
13	1.30	1.32	1.32	1.36	1.3250	1.300	1.360	0.060
14	1.27	1.30	1.32	1.36	1.3125	1.270	1.360	0.090
15	1.27	1.29	1.34	1.37	1.3175	1.270	1.370	0.100
16	1.30	1.35	1.28	1.30	1.3075	1.280	1.350	0.070
17	1.29	1.30	1.30	1.33	1.3050	1.290	1.330	0.040
18	1.29	1.32	1.30	1.33	1.3100	1.290	1.330	0.040
19	1.26	1.31	1.30	1.33	1.3000	1.260	1.330	0.070
20	1.28	1.32	1.30	1.33	1.3075	1.280	1.330	0.050
TOTALES					1.3066	0.0603		

En la tabla 3.2, se exponen los valores que se obtuvieron de la medición de la densidad de la tinta del color cyan en 20 muestras con un tamaño $n = 4$, se procedió a calcular el valor promedio de cada subgrupo a fin de calcular los límites de control para promedios, utilizando la siguiente fórmula;

$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$	$LC_{\bar{X}} = \bar{X}$	$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$
$LSC_{\bar{X}} = 1.3066 + 0.729(0.0603)$	$LC_{\bar{X}} = 1.3066$	$LIC_{\bar{X}} = 1.3066 - 0.729(0.0603)$
$LSC_{\bar{X}} = 1.3506$	$LC_{\bar{X}} = 1.3066$	$LIC_{\bar{X}} = 1.2627$

Asimismo, se procede a calcular los límites de control para rangos, a través de las siguientes fórmulas;

$LSC_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$	$LC_{\bar{R}} = \bar{R}$	$LIC_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$
$LSC_{\bar{R}} = 2.282 (0.0603)$	$LC_{\bar{R}} = 0.0603$	$LIC_{\bar{R}} = 0 (0.0603)$
$LSC_{\bar{R}} = 0.1376$	$LC_{\bar{R}} = 0.0603$	$LIC_{\bar{R}} = 0$

Uno de los puntos más importantes que debe tomarse en cuenta antes de la realización de la gráfica de control es como se indicó anteriormente, la organización de los subgrupos, ya que dependiendo cómo sean agrupados la gráfica será efectiva para el análisis.

Por lo tanto, en la gráfica la organización de los subgrupos será comparando cada corrida ya que lo que se desea analizar es el comportamiento de la densidad a medida que avanza el trabajo.

Si por el otro lado, se organiza los subgrupos por número de clavija o tintero, en este caso, el análisis no sería apropiado, ya que dentro de la impresión existen ciertas áreas en donde la tinta se “carga” en mayor cantidad con respecto a otras áreas, puesto que así lo exigen sus imágenes, por lo el análisis final no será el adecuado.

Así, se procedió a graficar los valores del rango y los valores promedio, de cada subgrupo organizados por corrida o tiraje de impresión.

Con el uso de la herramienta MINITAB, se procedió a ubicar los valores de cada subgrupo en la gráfica de control en donde se analiza primeramente el comportamiento del gráfico de los rangos, en donde se muestran los valores pertenecientes a cada par clavija o tintero, es decir la variación “dentro” del subgrupo, las que en este caso son cuatro.

Se observa que en cuanto a la dispersión el proceso se encuentra bajo control estadístico, puesto que los valores no demuestran ninguna tendencia específica, y se ubican dentro de los límites de control.

Seguidamente, se procede a elaborar la gráfica de los promedios, con el fin de analizar la variación que existe “entre” subgrupos, que en este caso sería entre corridas o tiraje de impresión, las cuales son veinte.

Se observa que los valores promedios de cada subgrupo se encuentran bajo control estadístico en lo que respecta a la localización.

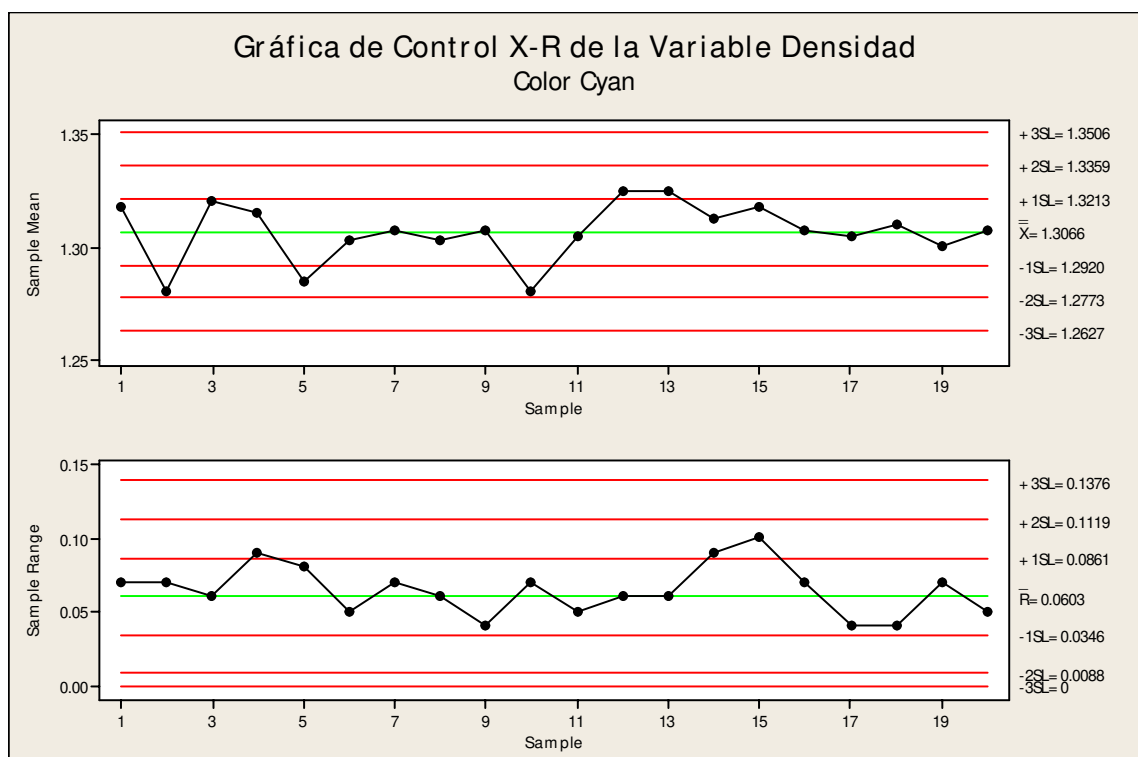


Figura 3.2: Gráfica de Control $\bar{X}$ -R de la densidad de la tinta del color cyan

Una vez graficados los datos es importante confirmar si existe un patrón específico en determinadas zonas del gráfico tanto en el de promedios como en el de rangos. Por lo que se procede a seleccionar en el MINITAB la opción de pruebas de patrones de inestabilidad con el fin de verificar si existe alguna influencia ajena al proceso, es decir que esté afectado por causas especiales.

Luego de generar la prueba se puede apreciar en la Figura 3.2 que no existe un patrón de comportamiento específico de las gráficas, ya que la herramienta MINITAB, identifica

estos patrones a través de una señal como un punto rojo dentro de la gráfica. Así al no mostrar ninguno, se concluye que el proceso está bajo control estadístico y que está afectado solamente por causas comunes de variación.

Este procedimiento se realiza para los tres colores restantes, analizando en primer lugar el comportamiento del gráfico de rangos, para identificar si el proceso se encuentra bajo control en la dispersión, es decir entre pares de clavijas y se procede luego a realizar el gráfico de los promedios, determinando si se encuentra bajo control estadístico en la localización, en este caso entre corridas.

De la misma forma que se realizó para el color cyan, la organización de los valores de los subgrupos del color magenta, es por corrida o tiraje de impresión, para analizar el comportamiento de la densidad a medida que avanza el trabajo.

A continuación se muestran los valores recopilados de la densidad del color magenta y el correspondiente cálculo de los valores promedios y del rangos de cada subgrupo.

Tabla 3.3: Valores recopilados de la densidad de la tinta del color magenta

SUBGRUPO N°	DENSIDAD (MAGENTA)				PROMEDIO X	MINIMO	MAXIMO	RANGO R
	X1	X2	X3	X4				
1	1.38	1.44	1.32	1.35	1.3725	1.320	1.440	0.120
2	1.39	1.44	1.32	1.38	1.3825	1.320	1.440	0.120
3	1.35	1.46	1.21	1.38	1.3500	1.210	1.460	0.250
4	1.38	1.46	1.23	1.35	1.3550	1.230	1.460	0.230
5	1.35	1.38	1.32	1.35	1.3500	1.320	1.380	0.060
6	1.35	1.38	1.32	1.39	1.3600	1.320	1.390	0.070
7	1.41	1.47	1.38	1.40	1.4150	1.380	1.470	0.090
8	1.41	1.47	1.40	1.40	1.4200	1.400	1.470	0.070
9	1.40	1.41	1.32	1.38	1.3775	1.320	1.410	0.090
10	1.39	1.40	1.28	1.39	1.3650	1.280	1.400	0.120
11	1.41	1.42	1.30	1.40	1.3825	1.300	1.420	0.120
12	1.41	1.45	1.30	1.40	1.3900	1.300	1.450	0.150
13	1.41	1.44	1.28	1.39	1.3800	1.280	1.440	0.160
14	1.35	1.46	1.25	1.35	1.3525	1.250	1.460	0.210
15	1.38	1.46	1.32	1.35	1.3775	1.320	1.460	0.140
16	1.40	1.48	1.32	1.35	1.3875	1.320	1.480	0.160
17	1.41	1.48	1.26	1.35	1.3750	1.260	1.480	0.220
18	1.41	1.45	1.30	1.40	1.3900	1.300	1.450	0.150
19	1.41	1.45	1.30	1.40	1.3900	1.300	1.450	0.150
20	1.40	1.41	1.32	1.38	1.3775	1.320	1.410	0.090
TOTALES					1.3775			0.1311

De la misma forma, a través de la siguiente fórmula se calculan los límites superior, e inferior a ubicar en el gráfico de los promedios;

$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$	$LC_{\bar{X}} = \bar{X}$	$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$
$LSC_{\bar{X}} = 1.3775 + 0.729(0.1311)$	$LC_{\bar{X}} = 1.3775$	$LIC_{\bar{X}} = 1.3775 - 0.729(0.1311)$
$LSC_{\bar{X}} = 1.4730$	$LC_{\bar{X}} = 1.3775$	$LIC_{\bar{X}} = 1.2820$

Luego se procede a calcular los límites de control superior e inferior para el gráfico de los rangos;

$LSC_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$	$LC_{\bar{R}} = \bar{R}$	$LIC_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$
$LSC_{\bar{R}} = 2.282 (0.1311)$	$LC_{\bar{R}} = 0.1311$	$LIC_{\bar{R}} = 0 (0.1311)$
$LSC_{\bar{R}} = 0.2992$	$LC_{\bar{R}} = 0.1311$	$LIC_{\bar{R}} = 0$

Se puede observar en la gráfica de los rangos Figura 3.3, que los valores dibujados a partir del cálculo del rango o variación “dentro” del subgrupo, es decir, los valores que corresponden a la densidad de la tinta del color magenta de cada par de clavijas, se encuentra bajo control estadístico. Aunque en la muestra número tres y cuatro los valores promedios de los rangos muestran un ligero incremento, sin embargo, no son lo suficientemente significativos para establecer la presencia de una causa especial de variación.

Asimismo, en el gráfico de promedios, se observa que los valores tienen un comportamiento que denota que el proceso se encuentra bajo control estadístico.

Con el uso de la herramienta MINITAB, se generan las pruebas de patrones y se obtiene que el proceso no tiene influencia de causas especiales ya que no existe ningún patrón asignado y se concluye que el proceso está afectado solamente por causas comunes de variación.

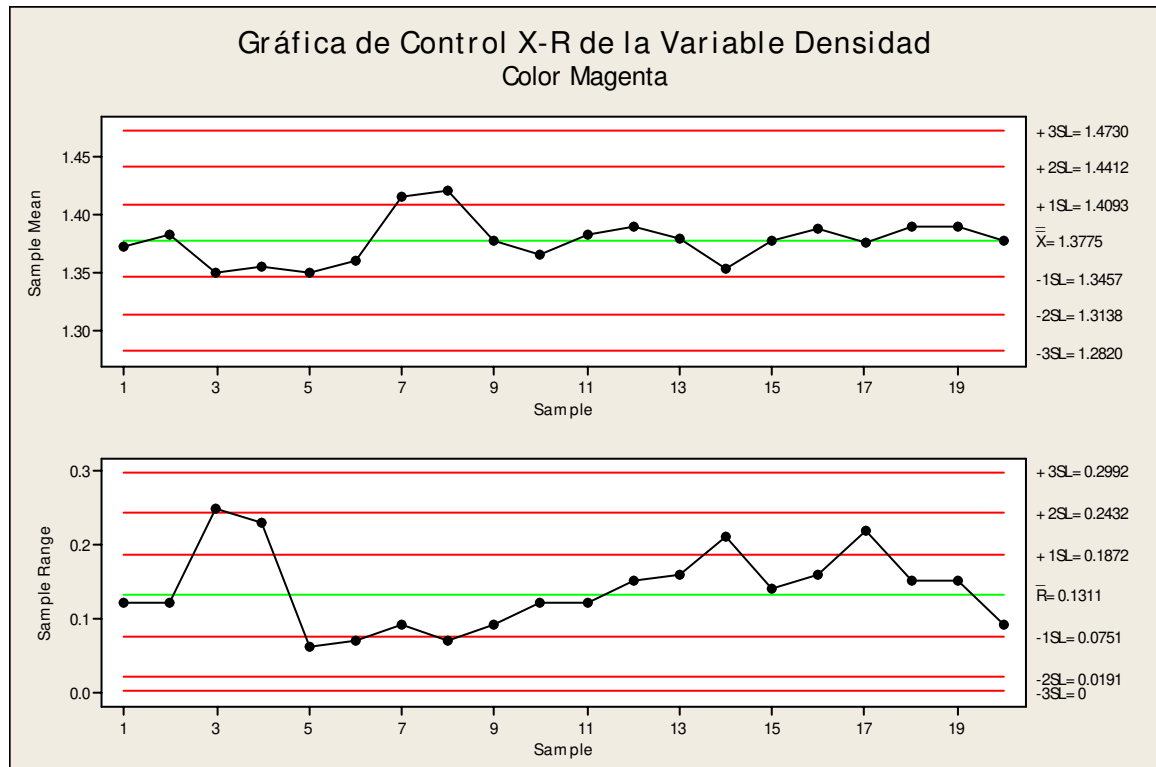


Figura 3.3: Gráfica de Control $\bar{X}$ -R de la densidad de la tinta del color magenta

A continuación se muestra los valores de la densidad del color amarillo, recopilados durante el proceso de impresión en papel etiqueta en la máquina SM-74

Tabla 3.4: Valores recopilados de la densidad de la tinta del color amarillo

SUBGRUPO N°	DENSIDAD (AMARILLO)				PROMEDIO X	MINIMO	MAXIMO	RANGO R
	X1	X2	X3	X4				
1	0.98	0.99	0.95	0.97	0.973	0.950	0.990	0.040
2	0.98	0.97	0.97	0.96	0.970	0.960	0.980	0.020
3	0.98	0.99	0.96	0.97	0.975	0.960	0.990	0.030
4	0.98	0.95	0.97	1.00	0.975	0.950	1.000	0.050
5	0.96	0.97	0.97	0.97	0.968	0.960	0.970	0.010
6	0.96	0.97	0.95	0.97	0.963	0.950	0.970	0.020
7	0.98	0.97	0.95	0.96	0.965	0.950	0.980	0.030
8	0.97	0.98	0.97	0.96	0.970	0.960	0.980	0.020
9	0.97	0.99	0.99	0.96	0.978	0.960	0.990	0.030
10	0.98	0.97	0.98	0.96	0.973	0.960	0.980	0.020
11	0.95	0.95	0.98	0.96	0.960	0.950	0.980	0.030
12	0.97	0.97	0.97	0.96	0.968	0.960	0.970	0.010
13	0.99	0.97	0.95	0.96	0.968	0.950	0.990	0.040
14	0.97	0.95	0.95	0.94	0.953	0.940	0.970	0.030
15	0.97	0.95	0.95	0.96	0.958	0.950	0.970	0.020
16	0.96	0.96	0.99	1.00	0.978	0.960	1.000	0.040
17	0.96	0.97	0.99	0.96	0.970	0.960	0.990	0.030
18	0.95	0.98	0.97	0.95	0.963	0.950	0.980	0.030
19	0.97	0.96	0.97	0.96	0.965	0.960	0.970	0.010
20	0.98	0.98	0.98	0.96	0.975	0.960	0.980	0.020
TOTALES					0.96813	0.02686		

Se procede a realizar los cálculos de los límites de inferior y superior basados en los resultados de los valores promedios;

$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$	$LC_{\bar{X}} = \bar{X}$	$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$
$LSC_{\bar{X}} = 0.96813 + 0.729(0.02686)$	$LC_{\bar{X}} = 0.96813$	$LIC_{\bar{X}} = 0.96813 - 0.729(0.02686)$
$LSC_{\bar{X}} = 0.98769$	$LC_{\bar{X}} = 0.96813$	$LIC_{\bar{X}} = 0.94856$

Luego se procede a calcular los límites de control superior e inferior para el gráfico de los rangos;

$LSC_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$	$LC_{\bar{R}} = \bar{R}$	$LIC_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$
$LSC_{\bar{R}} = 2.282 (0.02686)$	$LC_{\bar{R}} = 0.02686$	$LIC_{\bar{R}} = 0 (0.02686)$
$LSC_{\bar{R}} = 0.06127$	$LC_{\bar{R}} = 0.02686$	$LIC_{\bar{R}} = 0$

El procedimiento usado para los dos colores anteriores, es realizado de la misma manera para el color amarillo; en donde se observa a través del uso de la herramienta del MINITAB, que en gráfica de los rangos, el proceso de impresión en la densidad de la tinta amarilla, se encuentra bajo control estadístico.

Seguidamente, se elabora el gráfico de los promedios (Figura 3.4), y se realizan conjuntamente las pruebas de patrones de inestabilidad por causas especiales para verificar si existe algún patrón en la gráfica.

Al generar las pruebas de patrones de inestabilidad por causas especiales se determina que no existen causas especiales asignadas en el proceso.

Por lo tanto la variación “entre” subgrupos, corridas de impresión en el gráfico de promedios, se encuentra bajo control estadístico en cuanto a la localización.

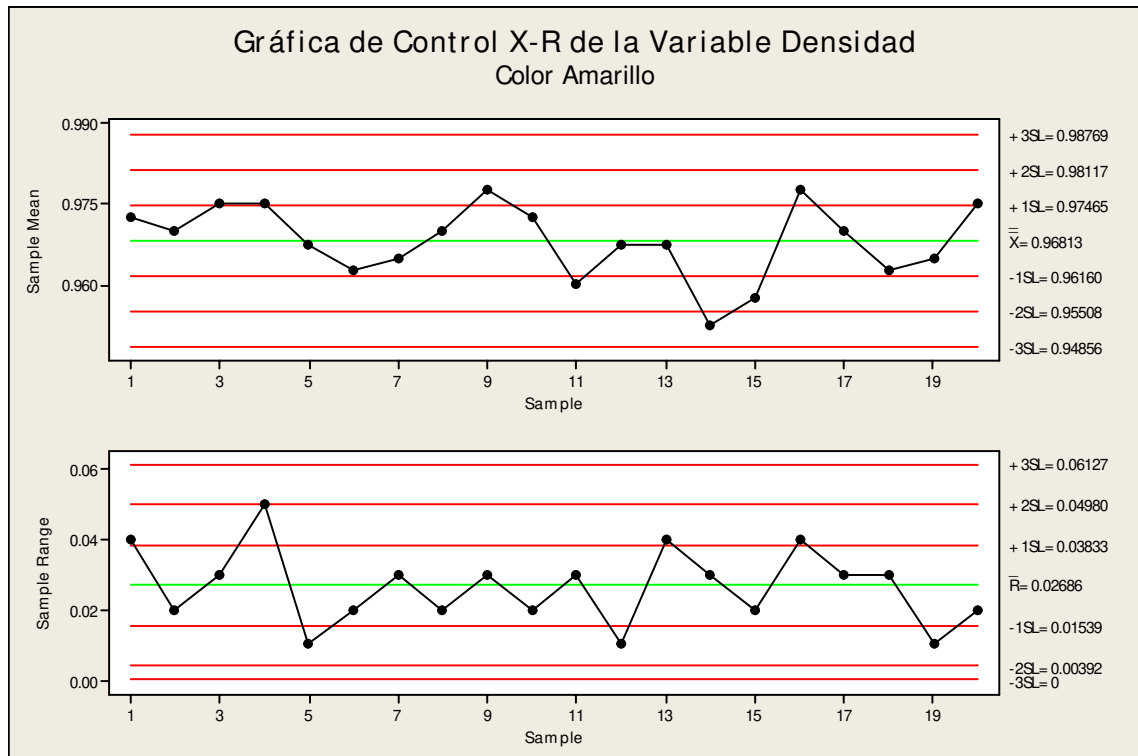


Figura 3.4: Gráfica de Control $\bar{X}$ -R de la densidad de la tinta del color amarillo

Finalmente con los valores obtenidos durante el proceso de impresión, se calculan los mismos estadígrafos para el color negro, obteniendo lo siguiente;

Tabla 3.5: Valores recopilados de la densidad de la tinta del color negro

SUBGRUPO N°	DENSIDAD (NEGRO)				PROMEDIO X	MINIMO	MAXIMO	RANGO R
	X1	X2	X3	X4				
1	1.82	1.74	1.71	1.71	1.745	1.710	1.820	0.110
2	1.83	1.73	1.70	1.81	1.768	1.700	1.830	0.130
3	1.76	1.75	1.73	1.72	1.740	1.720	1.760	0.040
4	1.78	1.77	1.74	1.75	1.760	1.740	1.780	0.040
5	1.80	1.76	1.75	1.77	1.770	1.750	1.800	0.050
6	1.76	1.75	1.73	1.72	1.740	1.720	1.760	0.040
7	1.83	1.73	1.70	1.81	1.768	1.700	1.830	0.130
8	1.76	1.75	1.73	1.72	1.740	1.720	1.760	0.040
9	1.76	1.77	1.76	1.77	1.765	1.760	1.770	0.010
10	1.80	1.76	1.75	1.77	1.770	1.750	1.800	0.050
11	1.82	1.74	1.71	1.71	1.745	1.710	1.820	0.110
12	1.83	1.73	1.70	1.81	1.768	1.700	1.830	0.130
13	1.83	1.73	1.70	1.81	1.768	1.700	1.830	0.130
14	1.76	1.75	1.73	1.72	1.740	1.720	1.760	0.040
15	1.78	1.80	1.75	1.82	1.788	1.750	1.820	0.070
16	1.78	1.80	1.74	1.80	1.780	1.740	1.800	0.060
17	1.82	1.80	1.75	1.82	1.798	1.750	1.820	0.070
18	1.76	1.76	1.72	1.75	1.748	1.720	1.760	0.040
19	1.79	1.77	1.76	1.77	1.773	1.760	1.790	0.030
20	1.79	1.77	1.76	1.77	1.773	1.760	1.790	0.030
TOTALES					1.7621	0.0761		

De igual forma se determina los límites de control superior e inferior para el gráfico de los valores promedios de la densidad del color negro;

$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$	$LC_{\bar{X}} = \bar{X}$	$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$
$LSC_{\bar{X}} = 1.7621 + 0.729(0.0761)$	$LC_{\bar{X}} = 1.7621$	$LIC_{\bar{X}} = 1.7621 - 0.729(0.0761)$
$LSC_{\bar{X}} = 1.8175$	$LC_{\bar{X}} = 1.7621$	$LIC_{\bar{X}} = 1.7067$

Y se calcula los límites de control superior e inferior para el gráfico de rangos de la densidad del color negro;

$LSC_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$	$LC_{\bar{R}} = \bar{R}$	$LIC_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$
$LSC_{\bar{R}} = 2.282 (0.0761)$	$LC_{\bar{R}} = 0.0761$	$LIC_{\bar{R}} = 0 (0.0761)$
$LSC_{\bar{R}} = 0.1735$	$LC_{\bar{R}} = 0.0761$	$LIC_{\bar{R}} = 0$

Se procede a graficar los valores tanto de los promedios como de los rangos obtenidos a través de la toma de datos de la densidad del color negro, observándose que el proceso se encuentra bajo control estadístico en cuanto a la dispersión “dentro” del subgrupo, por lo que se procede a realizar el gráfico de los promedios.

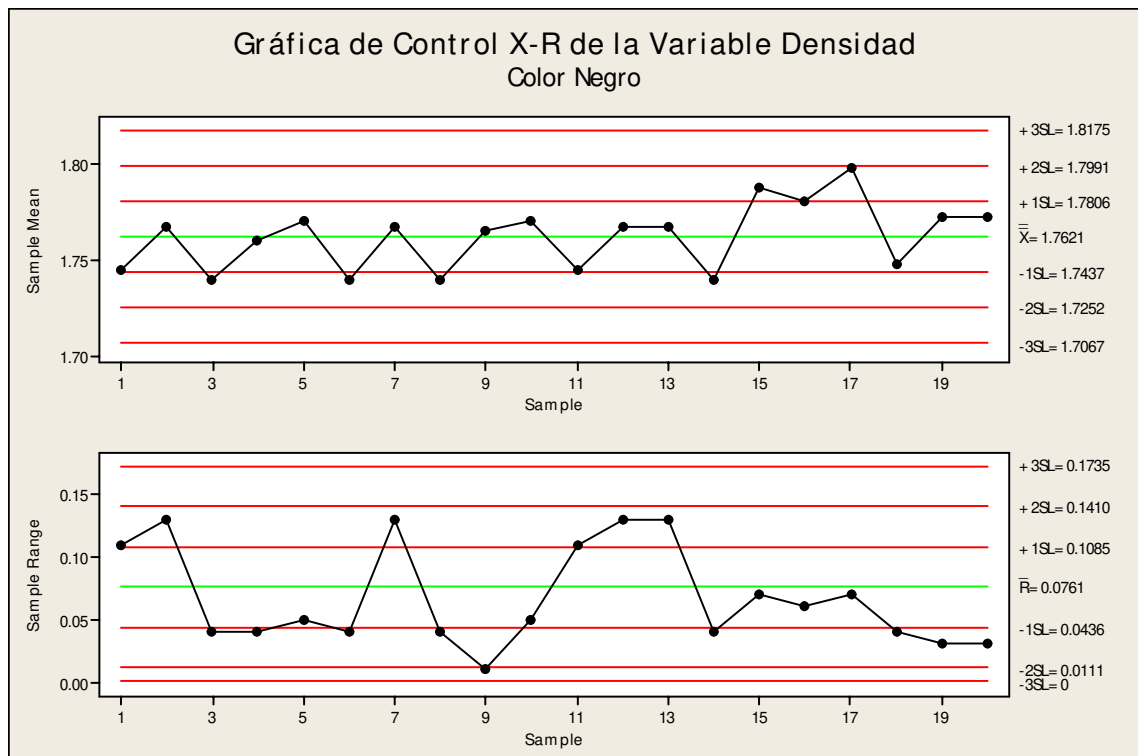


Figura 3.5: Gráfica de Control $\bar{X}$ -R de la densidad de la tinta del color negro

De igual manera, se procede a elaborar la gráfica de los promedios y se realiza la prueba de patrones de inestabilidad por causas especiales y se concluye que el proceso de impresión en el color negro se encuentra bajo control estadístico tanto en la dispersión como en la localización y que no se detectaron causas especiales que influyen en el proceso, a partir del comportamiento de la gráfica.

A partir de la generación del gráfico de rangos, se determinó, que el proceso en los cuatro colores se encuentra bajo control estadístico en cuanto a la dispersión, variación “dentro” de los subgrupos, es decir, que el comportamiento de cada par de clavija dentro del proceso de impresión, se encuentra sujeto a causas comunes de variación.

Asimismo, con la generación del gráfico de los promedios, se observó, que el proceso se encuentra bajo control estadístico para los cuatro colores en cuanto a la localización, o variación “entre” subgrupos, es decir que los valores promedios de la densidad obtenidos entre cada corrida están afectados por causas comunes de variación

Debido a que el proceso, está sujeto a causas comunes de variación, es necesario realizar un análisis más detallado para identificarlas dentro del sistema. Además, se necesita la intervención de la Gerencia de la compañía, ya que este tipo de variaciones son inherentes al proceso, y para su solución o eliminación se requiere cambios en el proceso.

Como los límites de control de prueba para cada color, ya están calculados y establecidos y al concluir que los gráficos $\bar{X}$ -R para cada color están bajo control estadístico; es posible emplear estos límites para controlar el proceso de la producción actual.

Sin embargo, se recomienda, que es importante realizar revisiones periódicas de estos límites de control de prueba con el fin de rectificarlos si es necesario y mantenerlos actualizados.

Puesto que la variación por causas comunes debe estar dentro de los límites de especificación permisibles, se debe seguidamente comparar los datos del proceso con los límites establecidos en la tabla 3.1, para conocer si el proceso es capaz o no de cumplirlas.

3.3. Prueba de Normalidad

En los gráficos de control de la densidad de la tinta de los colores cyan, magenta, amarillo y negro, se visualizó que el proceso se encuentra en estado de control estadístico tanto en la dispersión como en la localización.

No obstante, es necesario conocer si los productos que se obtienen de estos procesos cumplen con las especificaciones y, por lo tanto, si la variabilidad de los datos se encuentra entre los límites de tolerancia establecidos.

Para esto debe conocerse el comportamiento de los datos que, generalmente, siguen una distribución Normal, pero ello debe ser comprobado a través de una prueba de hipótesis en donde se conoce la bondad del ajuste.

A través del uso de la herramienta del MINITAB se escoge la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS), la cual muestra el p-value como referencia para aceptar o rechazar la hipótesis de la normalidad de los datos.

Este procedimiento se realiza para los valores de la densidad de los cuatro colores. Si los datos recopilados durante el proceso pertenecen a una distribución normal, se realiza seguidamente el análisis de capacidad para datos normales.

A continuación se muestra la prueba de normalidad (Figura 3.6) para los valores de la densidad del color cyan, en donde se muestra un p-value > 0.15 .

Un p-value por debajo de 0.05, revelará que los datos no son normales.

En el caso del color cyan como el p-value > 0.15 , permite suponer que la variable “densidad” de este color sigue una distribución Normal.

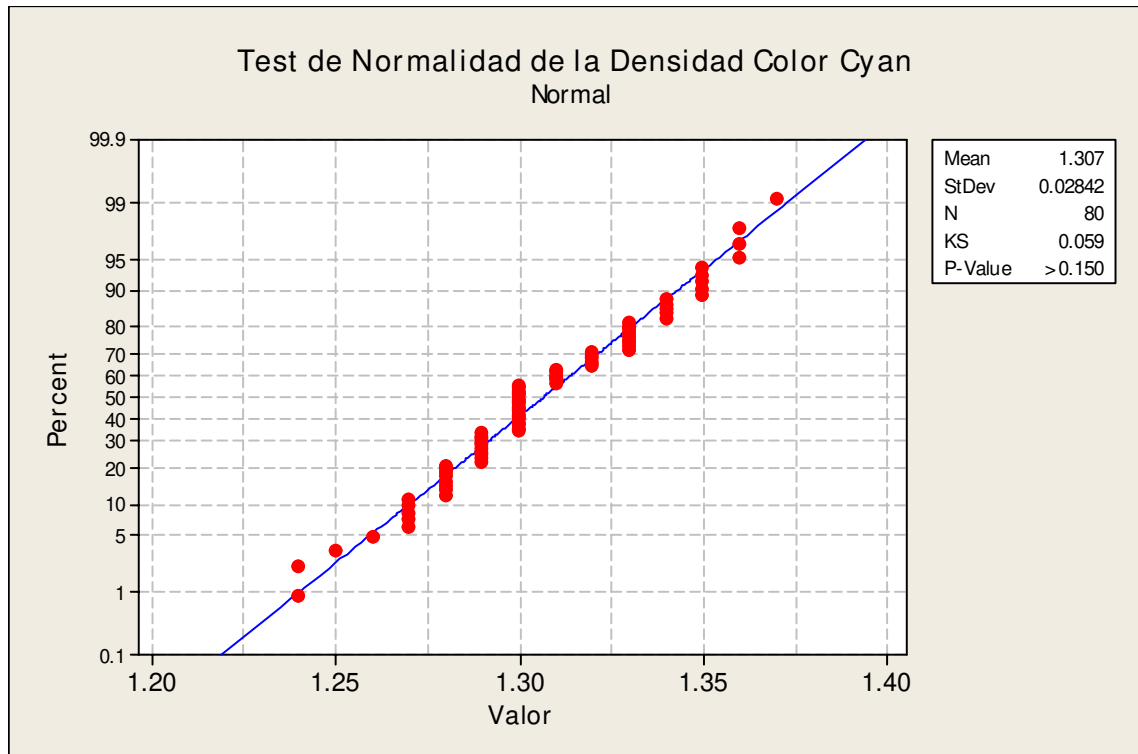


Figura 3.6: Prueba de normalidad de los datos de la densidad del color cyan

Por lo tanto, se procede a realizar la misma prueba en los otros colores a fin de analizar la normalidad de los valores de la densidad, y proceder luego a calcular la capacidad de cada proceso.

Así con los mismos valores de la densidad del color magenta que se utilizaron para elaborar la gráfica de control, se procede a realizar la prueba de normalidad, a través del uso de la herramienta MINITAB, en donde, se obtiene un p-value de 0.055; lo que permite suponer que los valores de la variable “densidad” del color magenta siguen una distribución Normal.

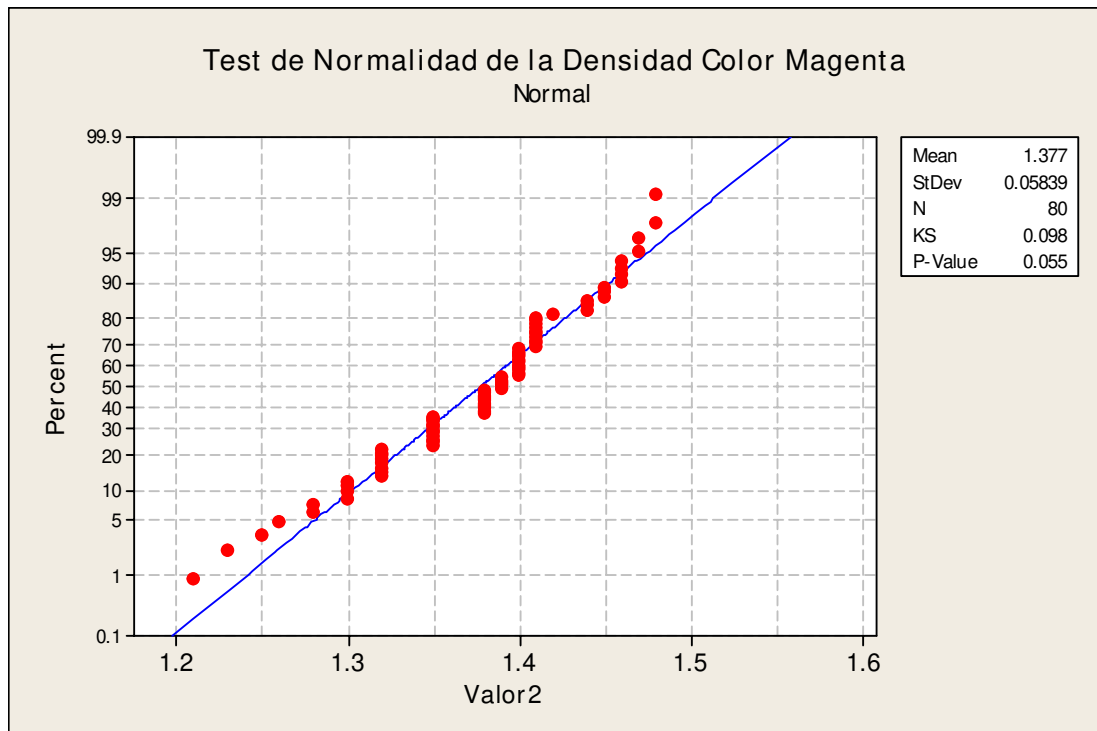


Figura 3.7: Prueba de normalidad de los datos de la densidad del color magenta

De igual manera se ejecuta la prueba de normalidad para los valores de la densidad del color amarillo, resultando un p-value > 0.15 ; por lo que se concluye que los datos recopilados de la densidad de la tinta pertenecen a una distribución Normal.

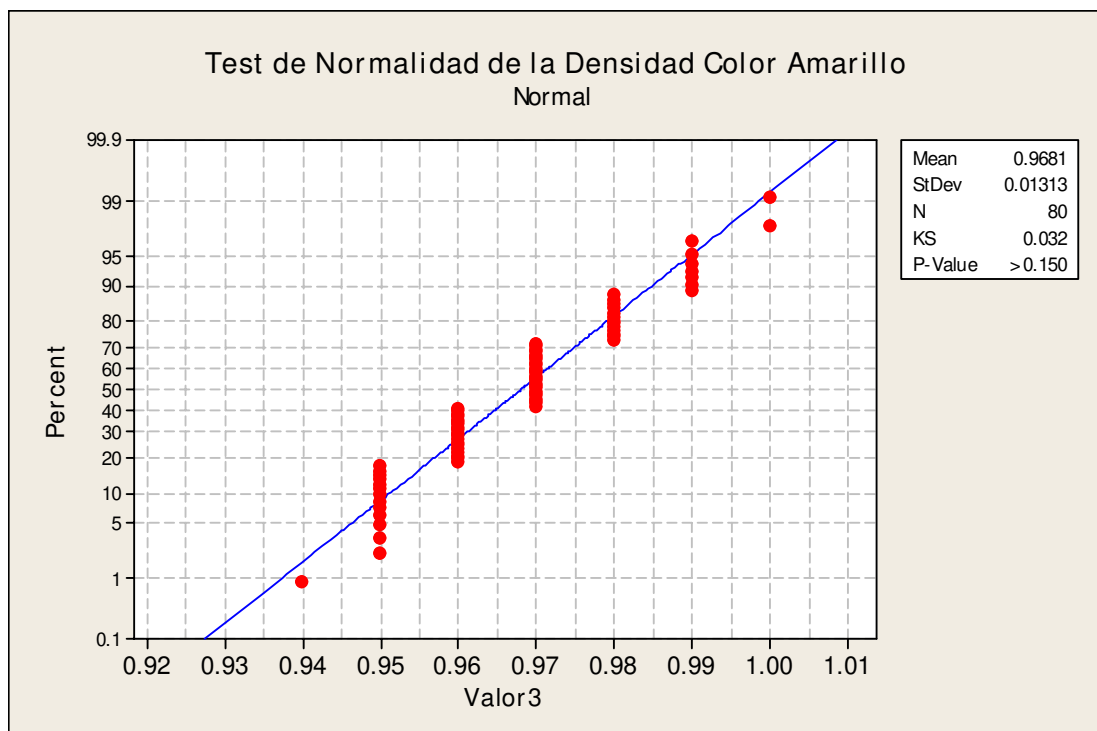


Figura 3.8: Prueba de normalidad de los datos de la densidad del color amarillo

Finalmente se muestra la prueba de normalidad para los valores de la densidad del color negro, con un p-value > 0.15 ; y por lo tanto también se puede suponer que los datos siguen una distribución Normal.

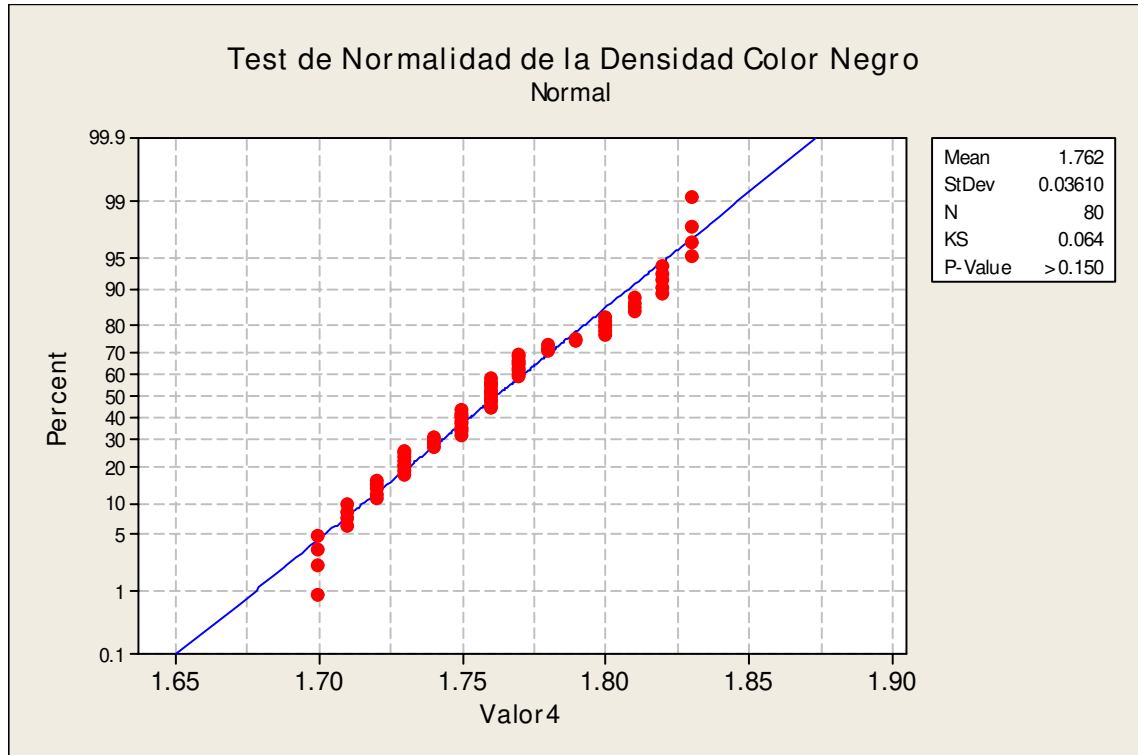


Figura 3.9: Prueba de normalidad de los datos de la densidad del color negro

Luego de realizar la prueba de normalidad de los cuatro colores, y al obtener que los datos siguen una distribución normal, y conjuntamente al representar los valores de la densidad de cada color dentro de la gráfica de control y al encontrarse bajo control estadístico, es posible realizar el análisis de capacidad de los datos recopilados.

3.4. Análisis de Capacidad de datos normales

El análisis de capacidad permite establecer si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones establecida para cada color, la cuales se muestran en la Tabla 3.1.

En este apartado se utilizan los índices de capacidad, que son determinados por los cocientes entre la variación natural del proceso y el nivel de variación especificada. El programa MINITAB, permite realizar el análisis de capacidad basado en este caso en la distribución normal.

Los análisis basados en el modelo normal, calculan tanto la variación a corto, como la variación a largo plazo. Los estadígrafos o índices de capacidad asociados a la variación a corto plazo son C_p , C_{pk} , CPU y CPL.; por otro lado, los índices asociados a la variación a largo plazo son P_p , P_{pk} , PPU y PPL.

Para calcular los estadígrafos C_p , C_{pk} , CPU y CPL, se estima la variación a corto plazo, a partir de la variación dentro de los subgrupos, pero no se consideran las diferencias entre los distintos subgrupos. Por tal motivo estos índices representan la capacidad potencial.

Conviene señalar que el C_p solamente mide la variabilidad del proceso respecto a la permitida por lo límites de especificaciones: $C_p = (LSE - LIE) / 6\sigma$. Sin embargo, existe el índice de capacidad real del proceso C_{pk} que tiene en cuenta además el desplazamiento respecto al valor nominal. Aunque ambos índices miden la capacidad del proceso a corto plazo.

Así, el resultado que se obtenga del índice de Capacidad Potencial C_p , se compara con los valores indicados en la tabla 3.6, en donde se evalúa al proceso, su capacidad y se lo clasifica en una categoría según la cantidad de veces que cabría en el intervalo 6σ . Este análisis es realizado para cada uno de los cuatro colores procesos.

Tabla 3.6: Rango de Valores del C_p y significado

Valor índice C_p	Categoría	Decisión si el proceso está centrado
$C_p > 2$	Clase mundial	Calidad Seis Sigma
$1.33 < C_p < 2$	1	Proceso Capaz
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado
$0.67 < C_p < 1$	3	Análisis muy necesario
$C_p < 0.67$	4	No adecuado

Por otro lado los estadígrafos P_p , P_{pk} , PPU y PPL, estiman la capacidad global o a largo plazo del proceso. Al calcular tales índices, se estima la variabilidad a largo plazo considerando para ello todo tipo de variación, tanto la que se produce dentro de los subgrupos como la que se produce entre ellos.

Se analiza en primer lugar la capacidad del proceso para el color cyan a partir de sus límites de especificaciones que son LSE = 1.35 y LIE = 1.25.

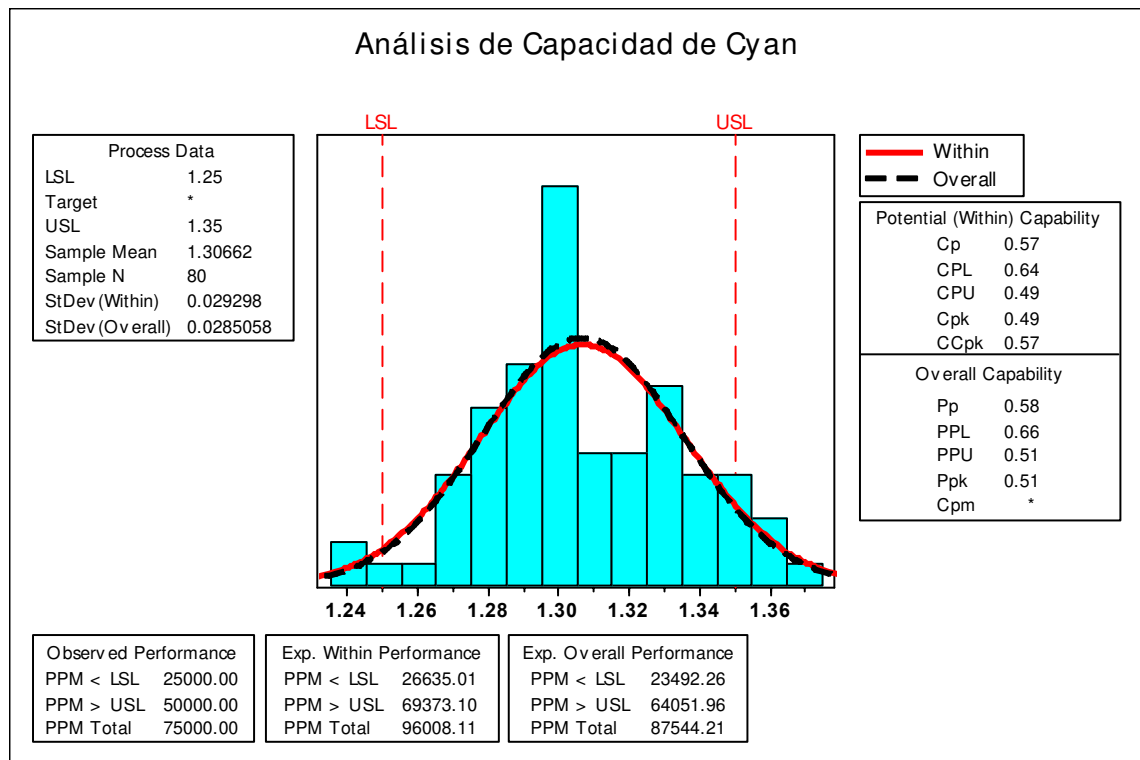


Figura 3.10: Análisis de Capacidad del Color Cyan

Como se observa, el proceso está bastante centrado, ya que el valor nominal es 1.30, mientras que el proceso se comporta con una media de 1.30662, sin embargo la variabilidad supera ampliamente lo establecido, de esta forma la diferencia entre el C_p (0.57) y el C_{pk} (0.49) no es excesiva pero en ambos casos los resultados son francamente malos, ya que existen valores a ambos lados de la curva que no cumplen con las especificaciones requeridas, obteniendo producto defectuoso durante el proceso.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- A corto plazo

1. **$C_p = 0.57$** La Capacidad potencial del proceso indica que tiene una categoría 4 y que por lo tanto el proceso no es adecuado, por lo que resulta necesario establecer, donde radican los problemas para disminuir la variación y un mejor ajuste al objetivo.

2. **CPL = 0.64 y CPU = 0.49** El índice de capacidad superior es menor que el índice de capacidad inferior, lo que indica que existe cierto desplazamiento de la densidad hacia valores superiores pero en ningún caso el comportamiento es aceptable.
3. **Cpk = 0.49** La capacidad real del proceso no es adecuada, aún si se consiguiese eliminar la variabilidad entre los distintos subgrupos.

- A largo plazo

La capacidad a largo plazo se calcula suponiendo que con el tiempo se producirá un cierto desplazamiento del proceso y hay también un cambio en la forma de calcular la desviación típica. El análisis de los datos es el mismo. Los resultados fueron:

1. **Pp = 0.58**
2. **PPL = 0.66**
3. **PPU = 0.51**

Como se observa los resultados del proceso apenas mejoran los resultados esperados a corto plazo, de hecho, casi son iguales y el análisis es similar ya que en ningún caso cumple con las especificaciones.

- Partes por millón

Observando el valor de defectos por millón pueden obtenerse resultados para el corto plazo y para el largo plazo, sin embargo, dados los malos resultados obtenidos, basta señalar que por cada 1 000 000 de impresiones se espera obtener 96 008 defectuosos que no cumplen con las especificaciones, de los cuales existen mayor cantidad de PPM que no cumplen las especificaciones del LSE con respecto a los del límite inferior.

De igual forma, se procede a realizar el análisis de capacidad para los valores de la densidad del color magenta, tomando como referencia los límites de especificaciones que son LSE = 1.45 y LIE = 1.35.

Así, para el caso del color magenta se observa que el proceso está sesgado a la izquierda, obteniendo mayor cantidad de producto defectuoso que no cumple con las especificaciones del LIE.

El proceso tiene una media de 1.3775, comparada con el valor nominal de 1.40, y la tendencia del proceso tanto en el corto como en el largo plazo es bastante similar, además tanto los valores del C_p (0.26) y el C_{pk} (0.14) denotan que el proceso no es adecuado.

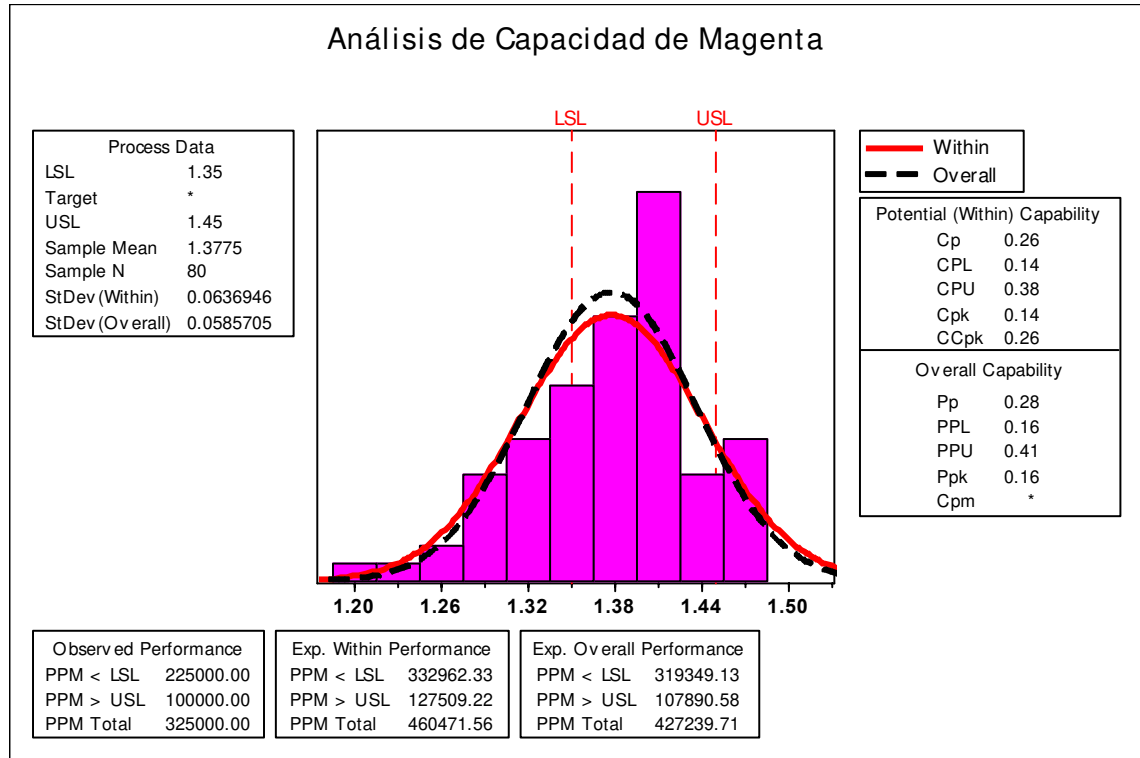


Figura 3.11: Análisis de Capacidad del color magenta

- A corto plazo

1. **$C_p = 0.26$** La Capacidad potencial del proceso indica que tiene una categoría 4 y que por lo tanto el proceso no es adecuado, y no cumple con las especificaciones establecidas.
2. **$C_{PL} = 0.14$ y $C_{PU} = 0.38$** El índice de capacidad inferior es menor que el índice de capacidad superior, lo que indica que existe cierto desplazamiento de la densidad hacia valores inferiores, originando 332 969 impresiones defectuosas cuya densidad será menor que el límite de especificación inferior.
3. **$C_{pk} = 0.14$** La capacidad real del proceso no es adecuada

- A largo plazo

Para el análisis de capacidad a largo plazo los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

1. **Pp = 0.28**
2. **PPL = 0.16**
3. **PPU = 0.41**

Como se observa existe una diferencia mínima entre la capacidad actual del proceso y la capacidad esperada, por lo que el análisis se mantiene, resultando que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones requeridas y que tanto en el corto como en el largo plazo existen mayor cantidad de impresiones defectuosas cuya densidad es menor que el límite inferior de especificación.

- Partes por millón

Tanto los valores del corto plazo como aquellos de largo plazo, son totalmente insatisfactorios, obteniendo en el corto plazo que por cada 1 000 000 de impresiones se obtienen 460 471 defectuosos que no cumplen con las especificaciones.

Además la tendencia de las impresiones defectuosas es obtener valores de densidad menores que el límite inferior de especificación.

Para el caso del análisis de capacidad de los valores de la densidad del color amarillo, los límites de especificaciones son los siguientes: LSE = 1.05 y LIE = 0.95.

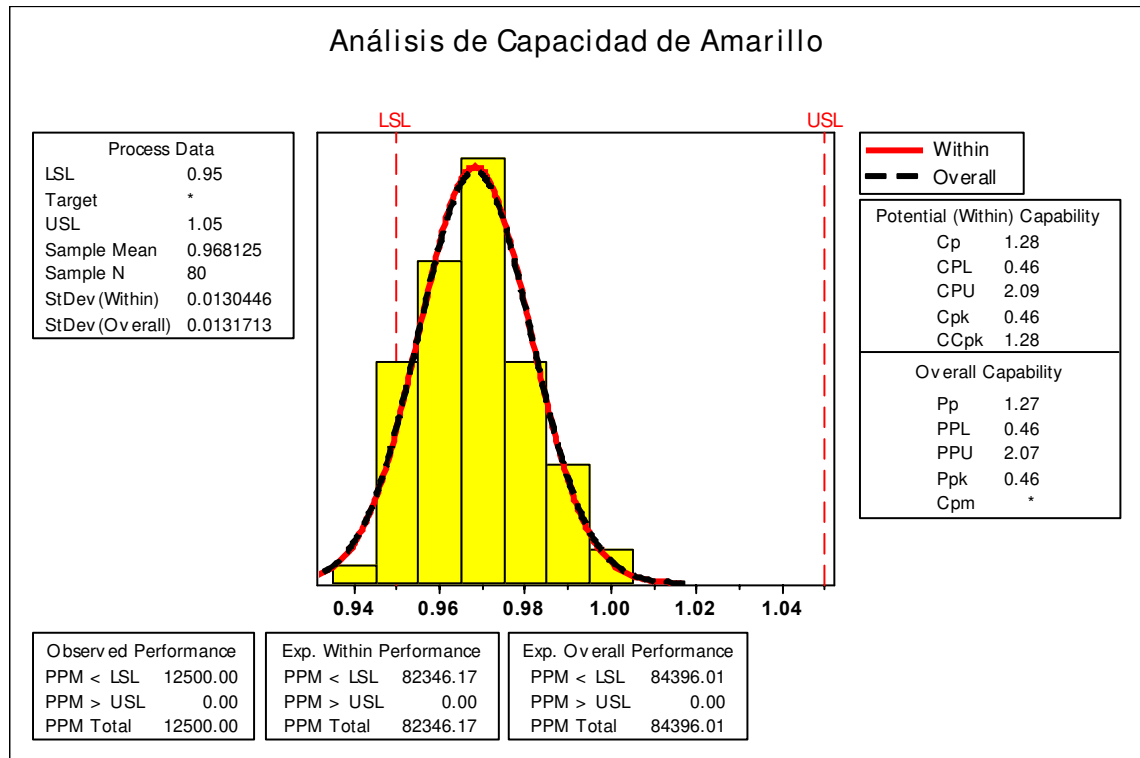


Figura 3.12: Análisis de Capacidad del color amarillo

De la figura 3.12 se deduce que, los resultados de los valores de la densidad del color amarillo, mantienen un sesgo negativo hacia la izquierda, teniendo una media 0.968125, con respecto al valor nominal de 1.00, esto resulta en tener mayor cantidad de impresiones defectuosas cuya densidad es menor que el límite inferior de especificación.

En el corto plazo los valores del C_p (1.28) y el C_{pk} (0.46) denotan que el proceso no cumple con las especificaciones, precisamente porque se encuentra descentrado. Por lo que obtenemos los siguientes valores:

- A corto plazo

1. **$C_p = 1.28$** La Capacidad potencial del proceso es de categoría 2 lo que denota un proceso parcialmente adecuado, sin embargo debido a que el proceso no está centrado porque existe bastante variabilidad de la densidad del color amarillo entre los distintos subgrupos, se considera que el proceso no es adecuado.
2. **$CPL = 0.46$ y $CPU = 2.09$** El índice de capacidad inferior es bastante menor que el índice de capacidad superior, lo que indica que existe un total desplazamiento de la densidad hacia valores inferiores, resultando en que el proceso esté descentrado.

3. **Cpk = 0.46** Debido a que el proceso no está centrado la capacidad real del proceso no es adecuada, generando productos defectuosos. Por otra parte si el proceso estuviera centrado, el desempeño del mismo mejoraría radicalmente.

- *A largo plazo*

Complementariamente, los resultados que se obtuvieron para el análisis de capacidad a largo plazo son los siguientes:

1. **Pp = 1.27**
2. **PPL = 0.46**
3. **PPU = 2.07**

Los resultados de la capacidad en el largo plazo se mantienen con respecto a los de corto plazo, generando 83 396 impresiones con defectos, cuya densidad es menor a las especificaciones del límite inferior, por lo que el proceso denota un desempeño no adecuado, sin embargo la capacidad del proceso mejoraría notablemente si estuviera centrado.

- *Partes por millón*

El número de defectuosos mejora en el largo plazo, sin embargo, debido al desplazamiento de los valores hacia el lado inferior, se obtienen por cada 1 000 000 de impresiones 82 346 defectuosos que no cumplen con las especificaciones, en su mayoría por valores de densidad no cumplen con el límite inferior de especificación.

El mismo análisis se hace para el color negro, tomando en consideración los límites de especificaciones con los valores: LSE = 1.65 y LIE = 1.55.

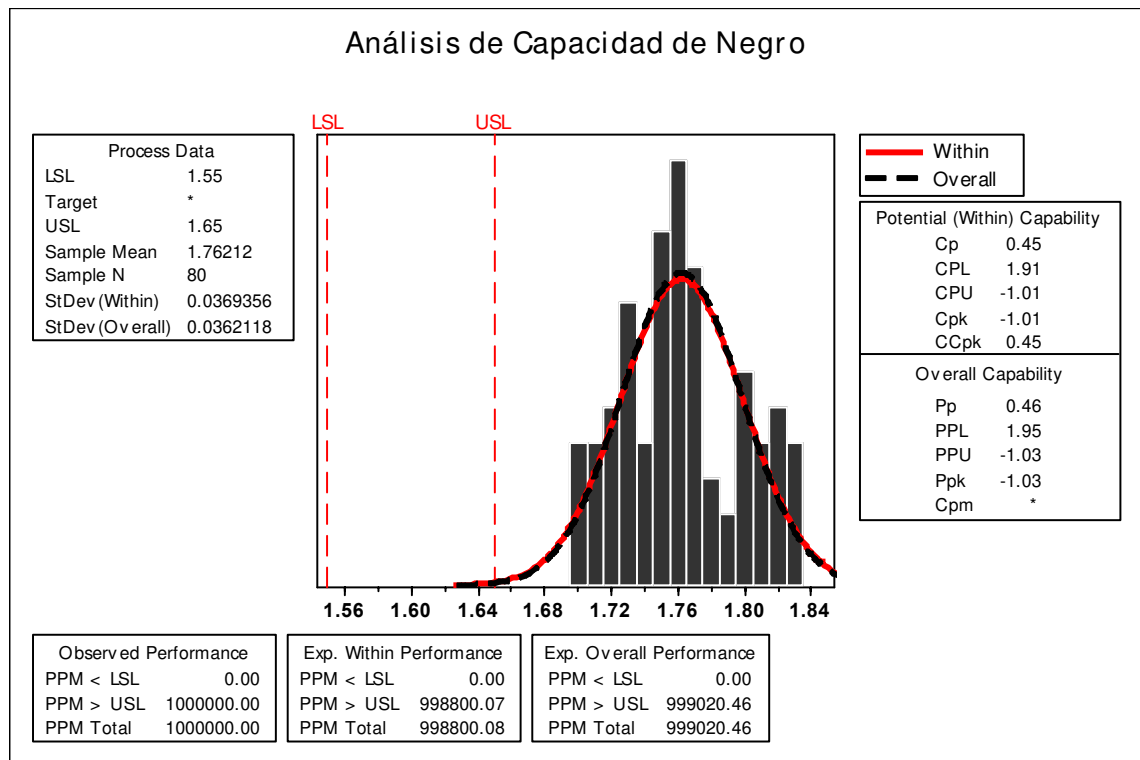


Figura 3.13: Análisis de Capacidad del color negro

Una vez más se demuestra la importancia de realizar un análisis de capacidad del proceso, luego de realizar gráficas de control, puesto que en el caso específico de los valores de la densidad del color negro, se concluía que el proceso se encontraba bajo control estadístico, tanto en la dispersión como en la localización.

Sin embargo, al comparar el proceso con los límites de especificación, se concluye a simple vista, que el proceso no es capaz, pues en primer lugar, en cuanto a la localización está fuera de las especificaciones teniendo una media 1.76212, con respecto al valor nominal de 1.60, con una variabilidad que supera lo establecido.

De tal forma que si se tomaran los valores del C_p (0.45) para realizar un análisis, las conclusiones no serían las adecuadas, por lo que es importante comparar estos valores con aquellos resultados del C_{pk} (-1.01) que denotan que el proceso está totalmente descentrado.

Por lo tanto el análisis de los resultados es como sigue:

- A corto plazo

1. **Cp = 0.45** La Capacidad potencial del proceso indica que tiene una categoría 4 y que por tanto el proceso no es adecuado, y resulta necesario establecer donde radican los problemas a fin de disminuir la variación y un mejor ajuste al objetivo
2. **CPL = 1.91 y CPU = -1.01** Indiscutiblemente, el análisis se basa en el valor del CPU el cual denota que el límite superior natural del proceso se encuentra fuera de los límites de especificación demostrando que los valores de la densidad de este color presenten el peor escenario.
3. **Cpk = -1.02** El proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones requeridas y además no está centrado.

- *A largo plazo*

Asimismo, los valores calculados a largo plazo son:

1. **Pp = 0.46**
2. **PPL = 1.95**
3. **PPU = -1.03**

Por los valores obtenidos en el cálculo de los índices, se concluye que el proceso mantiene un desempeño similar tanto en el corto como en el largo plazo, por lo tanto el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones requeridas y además no se encuentra centrado con respecto a sus límites.

- *Partes por millón*

Al concluir que el proceso no está centrado con respecto a los límites de especificación, el proceso genera una gran cantidad de defectuosos, obteniendo que tanto en el corto como en el largo plazo, el 100% de los valores de la densidad de las impresiones del color negro no cumplen con las especificaciones.

Una vez realizado el análisis de capacidad para cada uno de los cuatro colores, se muestra en la siguiente tabla un resumen de los índices de capacidad obtenidos con sus respectivos valores Z y σ a fin de visualizar los resultados de mejor manera.

Tabla 3.7: Cuadro resumen de índices de Capacidad por cada color

	Amarillo (Y)	Cyan (C)	Magenta (M)	Negro (K)
C_p	1.28	0.57	0.26	0.45
C_{pk}	0.46	0.49	0.14	-1.02
$\bar{x}$ (Objetivo)	1.00	1.30	1.40	1.60
Z	0.92	0.90	0.54	0
σ	1.39	1.30	0.10	-3.04

Como se puede observar en la tabla, a medida que se incrementa el valor de la densidad de la tinta **$\bar{x}$ (Objetivo)**, disminuye la capacidad real del proceso **C_{pk}** así como el nivel de sigma, lo que quiere decir, que generalmente los problemas que se dan durante el proceso de impresión por motivo de tonalidad se debe a las malas formulaciones que existen en la solución de fuente de la máquina.

Es así que una preparación no adecuada de la solución de fuente de la máquina no afecta tanto a un color con una densidad menor como a un color con una densidad mayor, ya que el secado, y resistencia al frote suele ser más rápido en un color como el amarillo comparado con un magenta o con un negro, obteniéndose mayores defectos en este color.

Por otro lado, en el caso específico del negro, generalmente, los operadores de máquina suelen disminuir o aumentar la densidad según sea el caso para lograr “fuerza” en el color, ya que en el caso de las etiquetas, la fuerza del color o tono final tiende a disminuir por el nivel de absorción del papel, provocando que se aumente la densidad.

Ahora bien, como los procesos están sujetos a variaciones comunes es importante cambiar la metodología de trabajo del impresor para solucionar estos problemas, además que la intervención de la Gerencia es un elemento vital en estos cambios. Por lo que en primer lugar se debe mantener la herramienta del gráfico de control durante el proceso para seguir corroborando los valores obtenidos. Además, por otro lado, se deben realizar alianzas estratégicas con el proveedor de tintas y de solución de fuente para que imparta capacitaciones al personal sobre la preparación correcta del material antes de su puesta en marcha en la máquina. Finalmente, la supervisión constante del personal para que ejecute en forma correcta las mediciones de la densidad de cada color, a fin de asegurar que no existan problemas de variabilidad por motivo de toma incorrecta de los datos.

3.5. Planificación del Diseño de Experimentos

Al elaborar las gráficas de control para los valores promedios de las densidades de los colores cyan, magenta, amarillo y negro, se determinó que los procesos se encuentran bajo control estadístico, por lo que se decide utilizar los límites de control de prueba calculados inicialmente, para monitorear la producción actual. Adicionalmente al realizar el análisis de capacidad para los mismos valores de la densidad de cada color, se llegó a la conclusión que los procesos no son capaces de cumplir con las especificaciones establecidas.

La siguiente etapa en la que se debe trabajar es en la mejora del proceso para esto primeramente se debe reducir la variabilidad en los resultados obtenidos en la densidad del color.

Según la tabla 3.7 en la que se compara los valores de capacidad obtenidos por cada color, se observó que a medida que el valor de la densidad aumenta, la capacidad del proceso disminuye. Este resultado al analizarlo con expertos del proceso, reflejó que la metodología de preparar la solución de fuente de la máquina no era la correcta lo que provoca que exista una enorme brecha entre la capacidad de cada color.

En este punto lo que se quiere lograr es por tanto disminuir la variabilidad del proceso, para esto la herramienta indicada a utilizar es el diseño de experimentos (DDE), ya que al detectar los factores que influyen en la variable respuesta es posible establecer procedimientos que permitan solucionar en gran medida el problema que se genera cuando un proceso no es capaz.

A partir de la observación del proceso, se detectó que existen cuatro factores que influyen en la preparación de la solución de fuente y por consiguiente en el proceso de impresión; estos son, el pH, la conductividad, el porcentaje de alcohol, y la temperatura para cada uno de los cuales se considerarán dos niveles de experimentación, es decir, pH (4.5 y 5.5); conductividad (800 μ y 1 200 μ) y alcohol (10% y 12%).

Tanto el pH, como la conductividad y el alcohol son factores de tipo controlable, lo contrario sucede con la temperatura, es decir, es un factor no controlable; lo que resulta que el diseño de experimentos se realice con tres factores, cada uno a dos niveles. Por lo tanto el diseño de experimentos queda con 2^3 factores.

Tabla 3.8: Factores que influyen en la densidad de la tinta con sus niveles

	Descripción	Nivel (-1)	Nivel (+1)	Tipo de Factor
Factor 1	pH	4.5	5.5	controlable
Factor 2	Conductividad	800	1 200	controlable
Factor 3	Alcohol	10	12	controlable

Debido a que el diseño de experimentos se realiza durante el proceso de impresión de un trabajo actual requerido por el cliente, no se podrá pasar intermitentemente de un nivel a otro para todos los factores, por consiguiente las mediciones no se realizarán en forma aleatoria.

Se espera obtener suficiente información del experimento realizado, por lo tanto se va a estudiar dos variables respuestas; la primera la calidad del producto impreso, y la segunda la densidad del color, el cual será aplicado para el color cuyo proceso fue el menos capaz de todos, que en este caso es el color negro.

El valor que recibe la primera variable respuesta será indicado por expertos del proceso, los cuales calificarán la apariencia de la impresión del producto en un rango del 1 al 10. El segundo valor obtenido para la variable respuesta será directamente la densidad del color negro.

Para procesar la información que se obtendrá de la primera variable respuesta, se establecen los siguientes criterios de evaluación, los cuales toman en cuenta, la densidad de la tinta, la apariencia del producto, el brillo de la impresión y la presencia de manchas; así la calificación de 1 es denotado como mala calidad y la calificación de 10 es tomada como buena calidad.

Tabla 3.9: Criterios de calificación de la calidad del producto

Calificación	Significado
1	Densidad elevada en 0.07 puntos en los cuatro colores, impresión opaca, con problemas de secado, con manchas
2	Densidad elevada en 0.05 puntos en los cuatro colores, impresión opaca, con problemas de secado, con manchas
3	Densidad elevada en 0.05 puntos en los cuatro colores, impresión opaca, secado lento, más de cinco manchas

Calificación	Significado
4	Densidad elevada en 0.03 puntos en los cuatro colores, impresión opaca, secado lento, más de cinco manchas
5	Densidad elevada en 0.03 puntos en los cuatro colores, impresión opaca, secado retardado, más de cinco manchas
6	Densidad elevada en 0.01 punto en los cuatro colores, impresión con brillo, secado retardado, más de cinco manchas
7	Densidad elevada en 0.01 punto en los cuatro colores, impresión con brillo, secado retardado, hasta cinco manchas
8	Densidad elevada en 0.01 punto en los cuatro colores, impresión con brillo, secado adecuado, hasta tres manchas
9	Densidad correcta en los cuatro colores, impresión con brillo, secado adecuado, con una mancha
10	Densidad correcta en los cuatro colores, impresión con brillo, secado adecuado, y sin manchas

Con el fin de obtener más grados de libertad y poder realizar la décima de hipótesis a partir del error estándar, los experimentos se realizan con una réplica bajo los mismos niveles y factores controlables, analizando mejor los datos obtenidos, y revisando la influencia que tiene cada factor sobre el valor de la densidad de la tinta, esto se lo realiza con los expertos de cada área para definir en las siguientes etapas las acciones a implementar.

Para que todos los análisis sean comparables entre sí, el tipo de material en el que se realiza el control estadístico del proceso, el análisis de capacidad y el diseño de experimentos es en papel etiqueta.

La Orden de Producción seleccionada contiene los cuatro colores procesos CMYK (cyan, magenta, amarillo y negro) a ser medidos de tal forma que pueda inferirse este comportamiento a las siguientes órdenes de producción.

3.6. Matriz de diseño en orden estándar

Una vez que se seleccionaron los factores que afectan a las variables respuestas con sus respectivos niveles se procede a generar la matriz de diseño en orden estándar, sólo y exclusivamente con el fin de comprobar ortogonalidad.

Tabla 3.10: Matriz de diseño en orden estándar

StdOrder	CenterPt	Blocks	pH	Conductividad	Alcohol
1	1	1	-1	-1	-1
2	1	1	1	-1	-1
3	1	1	-1	1	-1
4	1	1	1	1	-1
5	1	1	-1	-1	1
6	1	1	1	-1	1
7	1	1	-1	1	1
8	1	1	1	1	1
9	1	1	-1	-1	-1
10	1	1	1	-1	-1
11	1	1	-1	1	-1
12	1	1	1	1	-1
13	1	1	-1	-1	1
14	1	1	1	-1	1
15	1	1	-1	1	1
16	1	1	1	1	1

DISEÑO

3.7. Formulación de la Hipótesis del diseño de experimentos

En los experimentos la hipótesis nula refleja que si es aceptable que los efectos de todos los grupos son idénticos, es decir que los factores no influyen en la variable respuesta y por tanto todas las observaciones constituyen una muestra de una única población.

Ho: Efectos = 0

H1: Algún Efecto $\neq 0$

Luego de formular la hipótesis, se procede en el siguiente apartado a realizar cada experimento analizando el resultado de los datos obtenidos, a fin de implementar las acciones necesarias y mejorar los resultados de las variables respuestas.

3.8. Análisis de los datos e interpretación de la variable respuesta calidad del producto

Tabla 3.11: Resultados de la variable respuesta calidad del producto

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	pH	Conductividad	Alcohol	Respuesta
1	1	1	1	-1	-1	-1	9
5	2	1	1	-1	-1	1	9
9	3	1	1	-1	-1	-1	9
13	4	1	1	-1	-1	1	8
2	5	1	1	1	-1	-1	8
6	6	1	1	1	-1	1	8
10	7	1	1	1	-1	-1	7
14	8	1	1	1	-1	1	8
4	9	1	1	1	1	-1	5
8	10	1	1	1	1	1	2
12	11	1	1	1	1	-1	6
16	12	1	1	1	1	1	3
3	13	1	1	-1	1	-1	4
7	14	1	1	-1	1	1	3
11	15	1	1	-1	1	-1	5
15	16	1	1	-1	1	1	2

Para evaluar el comportamiento de la varianza, se utiliza el método estadístico que brinda la herramienta MINITAB en donde se utiliza el test de Bartlett cuyo resultado es el siguiente:

Bartlett's Test (normal distribution)

Test Statistics: 0.00

p-value: 1.000

Como se puede observar la probabilidad de equivocación si se afirma que las varianzas son distintas es casi 1, por lo que se decide aceptar la igualdad de varianzas.

De la misma forma, a través de la figura 3.14, se procede a evaluar el orden y aleatoriedad de los datos, es decir, mediante este gráfico, se puede analizar si la ejecución del experimento fue realizada al azar, y que por lo tanto no hubo dependencia entre las variables.

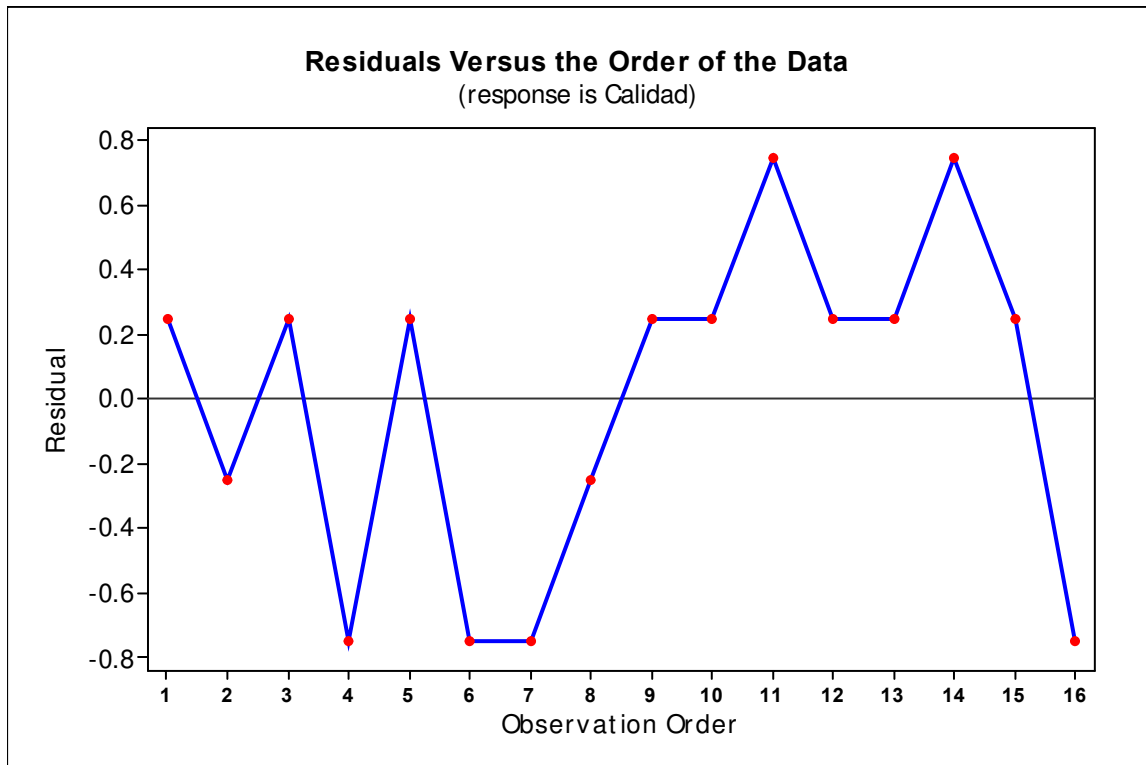


Figura 3.14: Representación gráfica de la aleatoriedad de los datos

Como se indicó en párrafos anteriores la secuencia de los experimentos no fue ejecutada en forma aleatoria, ya que estos se realizaron en línea. El análisis de está gráfica indica que a pesar de no haber ejecutado el experimento al azar no se presentaron patrones que pudieran afectar el resultado final de la variable respuesta, lo cual es bastante bueno para cumplir con la condición requerida por el diseño de experimentos.

Complementariamente, para visualizar cuáles efectos pueden ser significativos en la variable respuesta, se utiliza el gráfico de efectos en papel normal, o también llamado Gráfico de Daniel.

Los efectos no significativos deben seguir una distribución normal con media “0” y varianza constante. Esto implica que si los efectos se grafican en papel probabilístico Normal, los que no son significativos tenderán a formar una línea recta en esta gráfica ubicada a la altura del cero, lo que permite confirmar que tales efectos son efectivamente insignificantes.

Por su parte los efectos activos aparecerán alejados de la línea de normalidad, lo que indica que se deben a la existencia de efectos reales que influyen en la respuesta.

Así, el gráfico de efectos en papel normal, es una poderosa herramienta, que permite visualizar la significación de los efectos en la variable respuesta, en este caso la calidad del producto, de tal forma que entre más se aleje un punto de la línea, más importante será el correspondiente efecto.

En la figura 3.15, se observa que los factores conductividad y alcohol tienen un efecto significativo sobre la variable respuesta “calidad del producto”, mientras que el factor pH, al no aparecer en el gráfico, indica que no tiene un efecto significativo sobre el desempeño de la variable respuesta.

Se aprecia además que entre los factores “conductividad” y “alcohol” aquel que tiene mayor efecto sobre la variable respuesta “calidad del producto” es la conductividad por estar más alejada de la línea de normalidad.

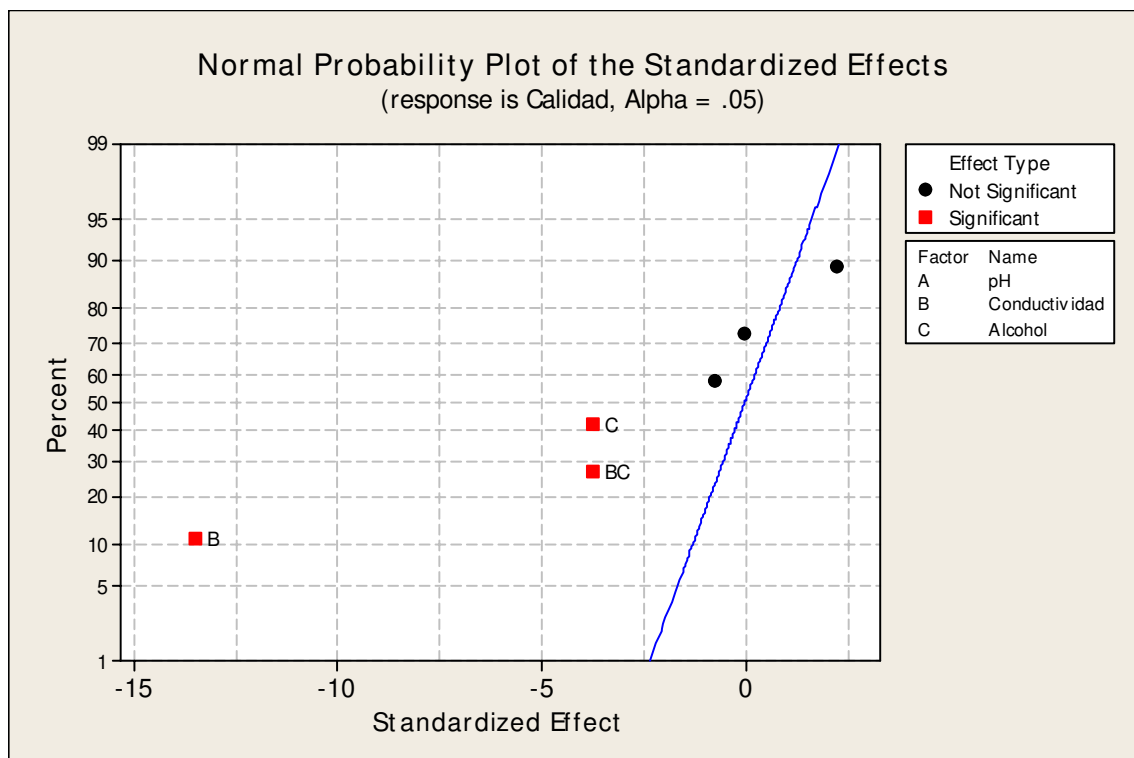


Figura 3.15: Gráfico de Daniel (Gráfico de efectos en papel normal)

Se visualiza de igual manera que el efecto de interacción entre los factores “conductividad” y “alcohol” es significativo. Por lo tanto, se procede a analizar el efecto que tiene la conductividad sobre la variable respuesta cuando el alcohol cambia de nivel y de la misma forma se analiza el efecto que tiene el alcohol sobre la variable respuesta cuando la conductividad pasa de su nivel bajo al alto.

El efecto de interacción de los factores conductividad y alcohol, se lo realiza a través del uso de la herramienta MINITAB, en donde se obtiene que cuando el alcohol se encuentra en su nivel bajo (10), la calidad del producto tiende a disminuir cuando la conductividad pasa del nivel bajo (800) al nivel alto (1 200).

Y si el alcohol se encuentra en su nivel alto (12), los efectos sobre el deterioro de la calidad del producto son aún mayores cuando la conductividad pasa del nivel bajo al nivel alto.

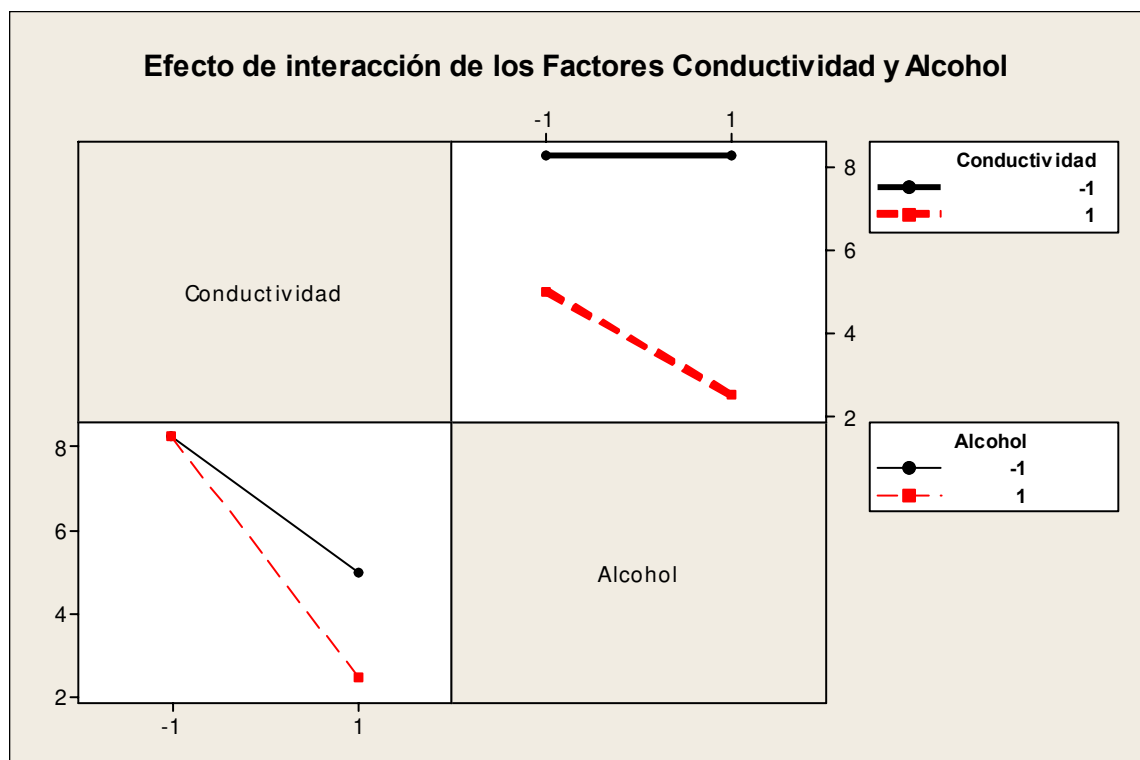


Figura 3.16: Efecto de interacción de los factores conductividad y alcohol

Para el caso de la conductividad se puede observar que las líneas son casi paralelas, por lo tanto se podría indicar que si la conductividad está en su nivel bajo (800) no existe mayor cambio en la variable respuesta cuando el alcohol pasa del nivel bajo (10) al nivel alto (12).

Por lo tanto, lo mejores resultados de la calidad del producto se obtienen cuando tanto la conductividad como el alcohol se encuentran en su nivel bajo, 800 y 10 respectivamente.

En el siguiente gráfico se refleja el mismo comportamiento combinando los dos factores.

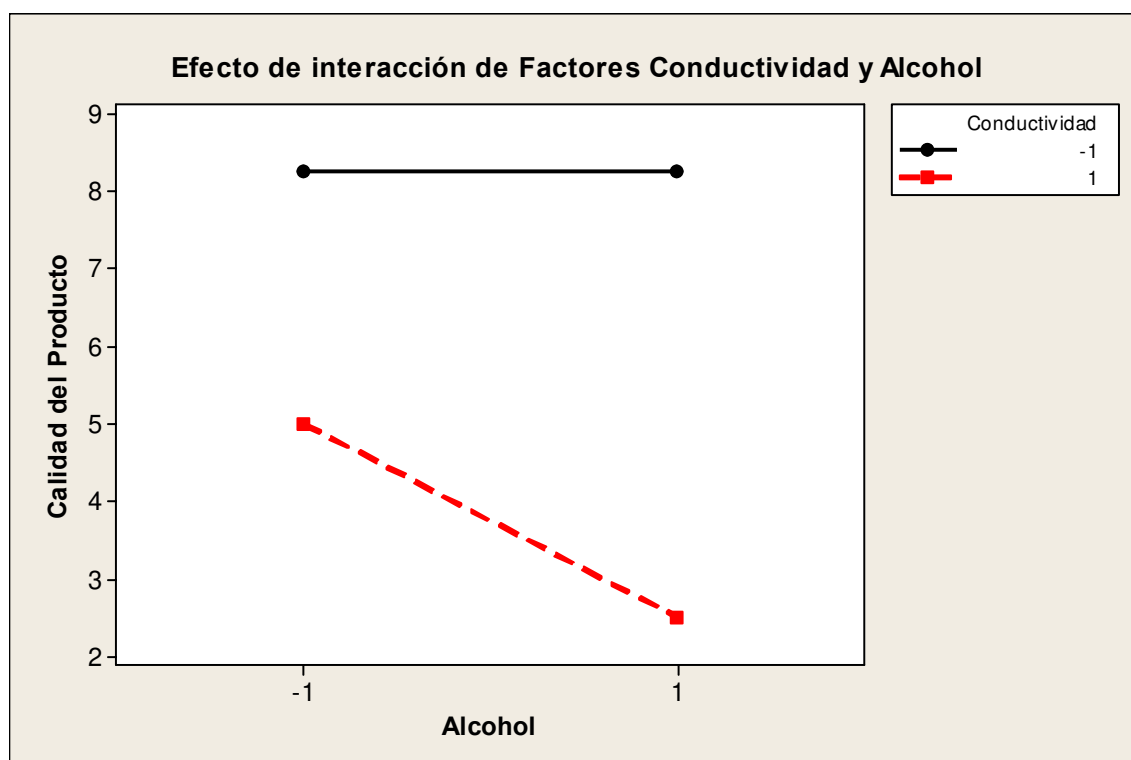


Figura 3.17: Efecto de interacción sobre la calidad del producto

De la misma forma se muestra en la tabla 3.12 los efectos estimados en la variable respuesta, calidad del producto.

Tabla 3.12: Efectos estimados en la calidad del producto

Estimated Effects and Coefficients for Respuesta (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		6.000	0.1667	36.00	0.000
pH	-0.250	-0.125	0.1667	-0.75	0.472
Conductividad	-4.500	-2.250	0.1667	-13.50	0.000
Alcohol	-1.250	-0.625	0.1667	-3.75	0.005
pH*Conductividad	0.750	0.375	0.1667	2.25	0.051
pH*Alcohol	0.000	0.000	0.1667	0.00	1.000
Conductividad*Alcohol	-1.250	-0.625	0.1667	-3.75	0.005

Con esta tabla se determina que basados en el p-value del factor pH (0.472) no existe influencia sobre la variable respuesta calidad del producto. Asimismo, estadísticamente hablando, su interacción con el alcohol no es significativa, por lo que no se analiza su comportamiento sobre la variable respuesta.

Los resultados en la calidad del producto disminuyen cuando los factores alcohol y conductividad pasan de su nivel bajo a su nivel alto siendo estos efectos significativos sobre la variable respuesta.

A continuación su representación gráfica en donde se puede visualizar claramente el comportamiento de la variable respuesta calidad del producto para cada factor, en donde se ratifica que no existe influencia del valor pH, mientras que los factores alcohol y conductividad afectan notablemente sobre la calidad del producto cuando pasan del nivel bajo al alto respectivamente.

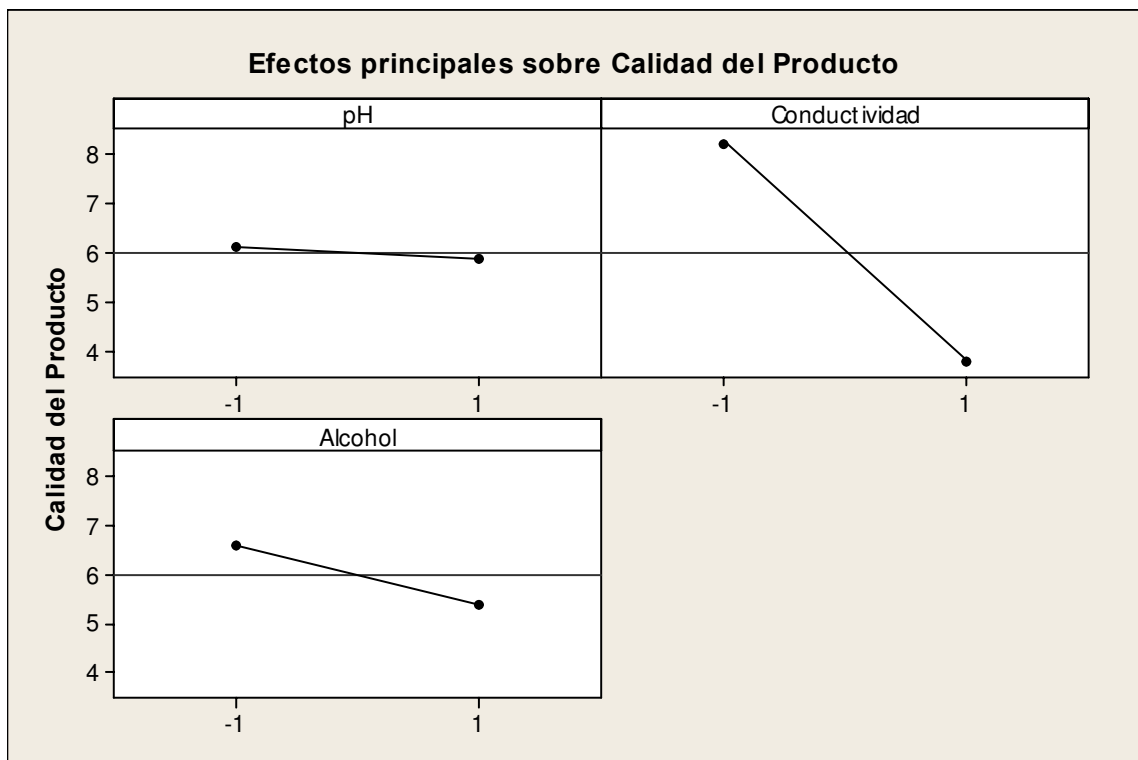


Figura 3.18: Gráfica de Efectos principales

Por lo tanto basados en los resultados del p-value, se puede indicar que los factores que influyen en la variable respuesta son en mayor proporción la conductividad, seguido por la influencia del alcohol. De la misma manera los resultados obtenidos de la interacción de los factores alcohol y conductividad, reiteran la influencia de estos factores sobre la variable respuesta. Además que cuando estos factores pasan del nivel bajo al nivel alto, la calidad del producto disminuye, por lo tanto se rechaza H_0 , y se concluye que los factores sí influyen en la calidad del producto. De tal forma que la mejor calidad del producto se obtiene con la combinación de la conductividad como del alcohol en su nivel bajo es decir 800 y 10, respectivamente.

Tabla 3.13: Análisis de varianza de la calidad del producto

Analysis of Variance for Respuesta (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3.00	87.50	87.50	29.167	65.62	0.000
2-Way Interactions	3.00	8.50	8.50	2.833	6.37	0.013
Residual Error	9.00	4.00	4.00	0.444		
Lack of fit	1.00	1.00	1.00	1.000	2.67	0.14
Pure Error	8.00	3.00	3.00	0.375		
Total	15.00	100.00				

A partir de lo anterior se puede considerar que un modelo lineal resulta adecuado para analizar los resultados obtenidos. Se confirma además la significación de los efectos principales (en este caso la conductividad y el alcohol) con un p-value de 0.000 y de los efectos de interacción (principalmente de la conductividad con el alcohol y del pH con la conductividad) con un p-value 0.01.

3.9. Análisis de los datos e interpretación de la variable respuesta densidad del color negro

Los resultados del segundo experimento son similares al primero, aunque existe una diferencia importante, que es el efecto que tiene el factor pH sobre la densidad de la tinta, en este experimento como no se evalúa la calidad total del trabajo sino que se analiza exclusivamente el comportamiento de la variable densidad, interviene el factor pH en la respuesta.

Tabla 3.14: Resultados de la variable respuesta densidad del color negro

RunOrder	CenterPt	Blocks	pH	Conductividad	Alcohol	Respuesta
1	1	1	-1	-1	-1	1.60
2	1	1	-1	-1	1	1.59
3	1	1	-1	-1	-1	1.61
4	1	1	-1	-1	1	1.58
5	1	1	1	-1	-1	1.62
6	1	1	1	-1	1	1.63
7	1	1	1	-1	-1	1.64
8	1	1	1	-1	1	1.65
9	1	1	1	1	-1	1.69
10	1	1	1	1	1	1.70
11	1	1	1	1	-1	1.66
12	1	1	1	1	1	1.67
13	1	1	-1	1	-1	1.68
14	1	1	-1	1	1	1.67
15	1	1	-1	1	-1	1.69
16	1	1	-1	1	1	1.71

Por lo que se obtiene que al igual que el experimento anterior el valor de la conductividad debe mantenerse en su nivel bajo es decir 800, ya que si cambia a nivel alto, los valores de la densidad aumentan, alejándose de los límites de especificación y por lo tanto disminuyendo la capacidad del proceso.

Tabla 3.15: Efectos estimados en la densidad del color negro

Estimated Effects and Coefficients for Densidad Color Negro (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.64938	0.00409	403.49000	0.00000
pH	0.01625	0.00812	0.00409	1.99000	0.07800
Conductividad	0.06875	0.03437	0.00409	8.41000	0.00000
Alcohol	0.00125	0.00062	0.00409	0.15000	0.88200
pH*Conductividad	-0.02375	-0.01187	0.00409	-2.90000	0.01700
pH*Alcohol	0.00875	0.00437	0.00409	1.07000	0.31200
Conductividad*Alcohol	0.00625	0.00313	0.00409	0.76000	0.46400

De igual manera, aunque el pH tiene un efecto menor que la conductividad, el resultado es similar, es decir, que al aumentar de su nivel bajo (4.5) al nivel alto (5.5), la densidad de la tinta aumenta, disminuyendo la calidad del producto.

Tabla 3.16: Análisis de varianza de la densidad del color negro

Analysis of Variance Densidad Color Negro (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3.00	0.019969	0.019969	0.006656	24.900000	0.000000
2-Way Interactions	3.00	0.002719	0.002719	0.000906	3.390000	0.067000
Residual Error	9.00	0.002406	0.002406	0.000267		
Lack of fit	1.00	0.000156	0.000156	0.000156	0.560000	0.477000
Pure Error	8.00	0.002250	0.002250	0.000281		
Total	15.00	0.025094				

Al igual que el primer experimento un modelo lineal es más apropiado para analizar los resultados ($p\text{-value} = 0.477$), y además se confirma la significación de los efectos principales ($p\text{-value} = 0.000$).

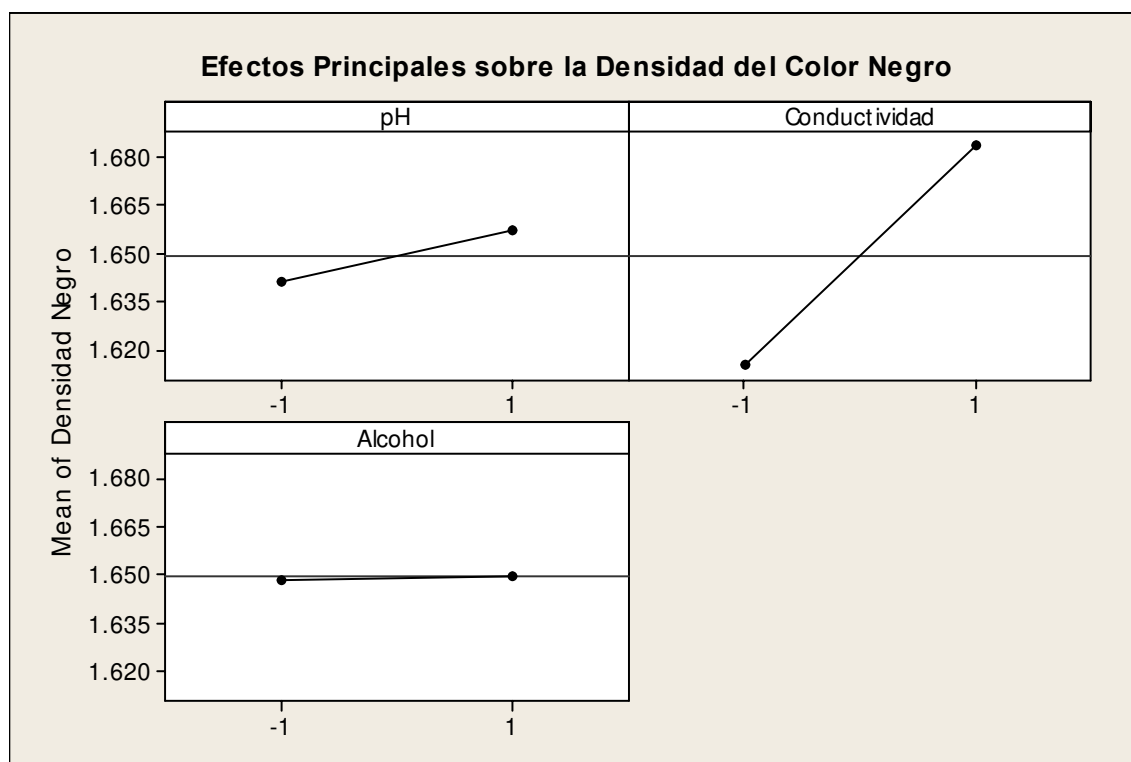


Figura 3.19: Gráfica de Efectos principales sobre la densidad del color negro

Por lo tanto con este segundo experimento, se obtiene que los mejores resultados tanto en la calidad del producto como en la densidad de la tinta es manteniendo los tres factores, conductividad, pH y alcohol en sus niveles bajos.

De igual forma se visualiza el efecto de interacción de los factores Conductividad y pH obteniéndose que cuando el pH se encuentra en su nivel bajo (4.5), la densidad del color es menor, asimismo cuando la conductividad pasa del nivel bajo (800) al nivel alto (1 200) la

densidad del color negro aumenta provocando que los resultados se excedan de los límites establecidos.

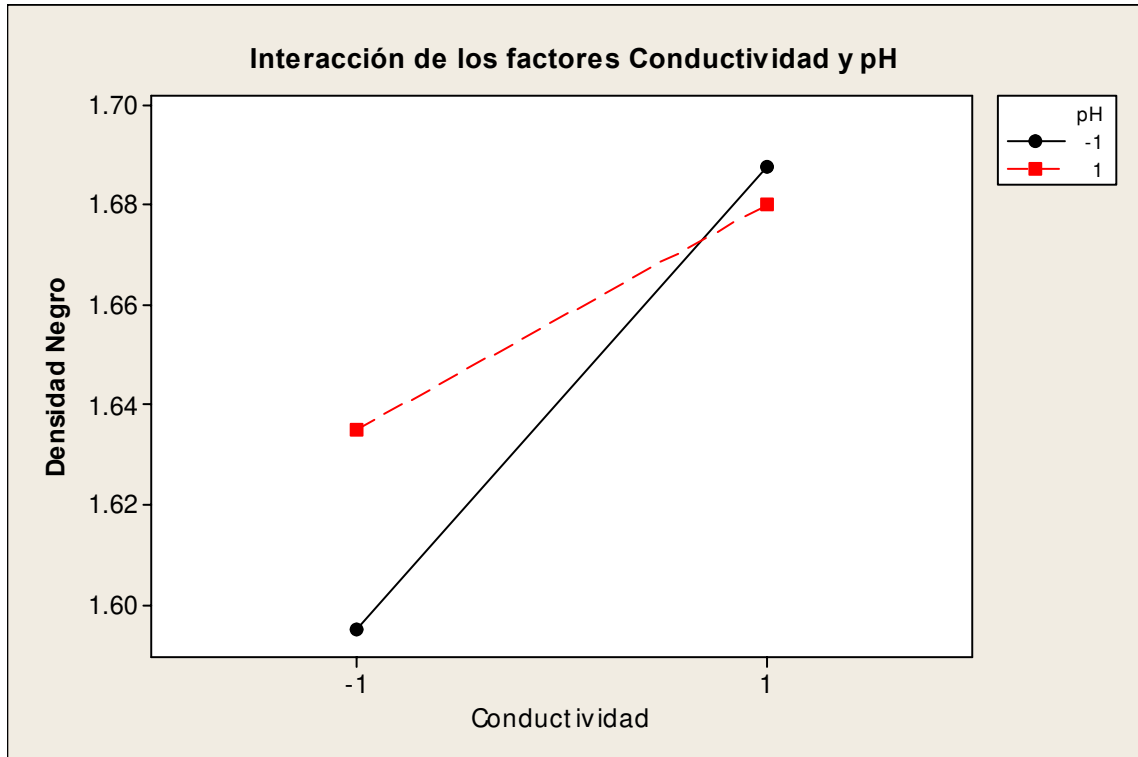


Figura 3.20: Efecto de interacción sobre la densidad del color negro

Tanto en el primer experimento como en el segundo se obtiene como mejor combinación los factores en sus niveles bajos, por lo que se decide que ésta combinación (pH = 4.5, Conductividad= 800 y Alcohol= 10), será utilizada en el proceso de impresión de litografía, pues de esta forma se obtiene la menor variabilidad y por lo tanto la mejor capacidad del proceso. Es así que con estos valores se procederá a realizar el seguimiento de la variable densidad y su comportamiento dentro de los límites de control previamente establecidos.

Por lo tanto se puede asegurar que la falta de capacidad de los procesos por cumplir las especificaciones, luego de realizar los experimentos, es debido a la mala formulación de la solución de fuente, afectada principalmente por los factores conductividad, alcohol y pH. Así al no conocer la formulación correcta de la solución de fuente, se “experimentaba” en línea con los diferentes niveles, alterando notablemente la calidad final del producto, provocando variación de tonos en las impresiones las que no cumplían con lo requerido por el cliente, lo que generaba en la mayoría de los casos el problema de las devoluciones.

Es así que con el fin de verificar los resultados obtenidos a partir del diseño de experimentos, se procede a utilizar los valores recomendados para cada factor, es decir, en el nivel bajo, durante el proceso de impresión, a fin de monitorear la capacidad de cada proceso.

Complementariamente, para asegurar la continuidad y efectividad de los resultados obtenidos a través de las técnicas implementadas, es importante que se realice un plan de capacitación para el operador (Anexo D) con el fin de que la metodología quede documentada, y se transmita paso a paso, cada actividad a realizar por el personal involucrado, de tal forma que se tome conciencia y se reconozca la importancia de controlar su trabajo y se detecte en forma eficaz el problema antes de su ocurrencia. Indiscutiblemente es necesaria la ejecución de auditorías permanentes a fin de asegurar el cumplimiento de las tareas encomendadas durante el proceso de impresión.

CAPÍTULO 4.

4. APLICACIÓN DE LAS SOLUCIONES PROYECTADAS

Para cerrar el círculo y demostrar la mejora en el proceso de impresión se expondrán en este capítulo los resultados obtenidos luego de implementar la combinación correcta de cada factor en su nivel bajo durante la formulación de la solución de fuente a utilizar en la máquina. Asimismo, se muestra el impacto logrado en la medición del “antes” y “después” de la variable densidad en el color con el peor escenario, es decir, el color negro, con el desarrollo de gráficos de control de monitoreo durante el proceso de impresión, esto con el fin de que se pueda fundamentar el cumplimiento de los objetivos específicos, del objetivo general, y de la formulación de la hipótesis del trabajo, además del beneficio económico alcanzado para el proceso de impresión en la máquina SM 74 y para la compañía.

4.1. Cumplimiento de objetivos específicos

- Objetivo específico 1: Establecer un diagnóstico que permita conocer que característica de calidad es mayormente afectada por la variabilidad del proceso de impresión de litografía incidiendo en la calidad del producto terminado, y consecuentemente en los costos de producción.

Para realizar un diagnóstico de cualquier proceso, el primer paso que se debe tomar en cuenta según recomendaciones emitidas por autores entendidos en la materia, es la observación y recopilación de datos del proceso durante por lo menos tres meses, para poder analizar el flujo de producción, la utilización de recursos tanto humanos como materiales y reconocer los posibles problemas que pudiera tener proceso.

Mientras más tiempo se observe el proceso, mayor conocimiento se tendrá del mismo, y por lo tanto, se detectarán con mayor eficacia las posibles soluciones o cambios que se deberán realizar para disminuir o eliminar cualquier problema.

Asimismo, es importante contar con la ayuda de herramientas estadísticas, las que con la interpretación de los datos y el sentido común, ayudan a la toma de decisiones acertadas para tratar los problemas detectados.

Finalmente el apoyo del personal de expertos que tengan las bases estadísticas, la experiencia y el conocimiento del proceso estudiado, ayudan a implementar mejoras puntuales que conlleven a obtener los resultados en menor tiempo.

En el caso específico del proceso de impresión de tipo seriado mediano, con el uso de herramientas de calidad como el diagrama de Pareto, se observó que el proceso dentro de la compañía que generó mayor porcentaje de devoluciones de producto terminado durante los últimos meses fue el proceso de producción.

De esta forma, al recopilar la información del proceso de producción referente a la cantidad y sus respectivos valores monetarios de las devoluciones recibidas en los últimos meses, se detectó que la sección que tuvo mayores problemas y por lo tanto mayor influencia en las devoluciones fue el proceso de impresión de la línea de litografía.

Seguidamente, en este proceso se observó que el motivo que genera mayor impacto económico en las devoluciones es debido a la variación de tonalidad en los productos impresos, en donde se detectó que la mayor parte de los trabajos devueltos fueron impresos en la máquina SM-74.

Con esta información, se procedió a realizar una reunión de lluvia de ideas con expertos del proceso, en donde se acordó que la variable que está relacionada con la tonalidad y por consiguiente vinculada con la mayor parte de las devoluciones, es la densidad de la tinta.

Consecuentemente, una vez identificada la variable que está mayormente afectada por la variación de los tonos, es decir la densidad de la tinta, se procedió a determinar las causas que provocan esta variabilidad durante el proceso de impresión a fin de implementar las herramientas necesarias que ayuden a controlarla.

- Objetivo específico 2: Determinar las causas que provocan que se genere la variabilidad de dicha característica y a su vez del proceso de impresión de litografía que influyen en la calidad del producto terminado y por consiguiente en los costos de producción.

Para demostrar el cumplimiento de este objetivo se utilizó la herramienta de calidad - diagrama causa-efecto-, adicionalmente, se realizó una reunión de tormenta de ideas con la participación de cinco expertos del proceso, como son el Jefe de Producción de Litografía, el Jefe de Control de Calidad, el Supervisor de Producción, el Inspector de Calidad y el Jefe de Métodos, para encontrar las causas que generan la variación de la densidad de la tinta.

Es así que con la ayuda del diagrama, se procedió durante la reunión, a clasificar cada una de las causas, en las cinco categorías principales; o 5Ms – mano de obra, materia prima, maquinaria, método, y medio ambiente –, detectándose, que la causa que mayor influencia tiene en el problema, según los expertos, es un problema de método, específicamente, la falta de control durante el proceso de impresión.

Asimismo, para verificar el nivel de acuerdo entre los expertos, se utilizó el coeficiente de concordancia W de Kendall, cuyo resultado indicó que se rechazaba la hipótesis nula, y por lo tanto se concluía que los criterios de los expertos coincidían entre sí.

Por lo que con los resultados de este análisis se determinó que la causa que provoca variabilidad en la densidad de la tinta es por un problema de método es decir, la falta de control durante el proceso de impresión.

- Objetivo específico 3: Implementar una herramienta de mejoramiento y control estadístico de procesos que disminuya la variabilidad del proceso de impresión de litografía y por consiguiente se logre el incremento de la calidad del producto terminado y la disminución de los costos de producción.

Una vez realizado el diagnóstico y análisis del proceso, y al determinar que la variable que se debe monitorear es la densidad de la tinta, se procedió inmediatamente a obtener información de su comportamiento a través del uso de la gráfica de control $\bar{X}$ -R, en donde se detectó que los valores recopilados de cada color se encuentran bajo control estadístico tanto en la dispersión como en la localización.

Se determinó además que los procesos no están sujetos a variaciones por causas especiales, y que las variaciones detectadas tanto en el gráfico de promedios, como en el gráfico de rangos, se debe a causas comunes.

De la misma forma se estableció que los procesos no son capaces de cumplir con las especificaciones, por lo que es importante, mantener el sistema de control para identificar cualquier variación en el largo plazo.

Adicionalmente, se realizó un diseño de experimentos en donde se evaluó el comportamiento de dos variables respuestas; calidad del producto y densidad de la tinta, de esta forma, se detectó a través de esta herramienta que para disminuir la variabilidad del

proceso de impresión, los factores que intervienen en la formulación de la solución de fuente deben utilizarse en su nivel bajo.

Por lo tanto, basados en los resultados obtenidos del diseño de experimentos se procede a realizar un nuevo estudio de capacidad del color cuyos resultados fueron los del peor escenario en este caso el del color negro.

Para esto, en el mes de noviembre se escogió una orden de producción de etiquetas, en donde luego de probar la normalidad de los datos, se obtuvieron mejores resultados.

Obviamente los resultados no son “óptimos” pero se puede apreciar que ya se imprime cierta cantidad de producto que cumple con los límites de especificaciones, aunque el proceso sigue descentrado, existe una disminución de la cantidad de impresiones defectuosas.

Antes de la implementación el color negro generaba el 100% de la producción defectuosa, actualmente aunque no es el ideal se muestra una mejora del proceso en un 50%.

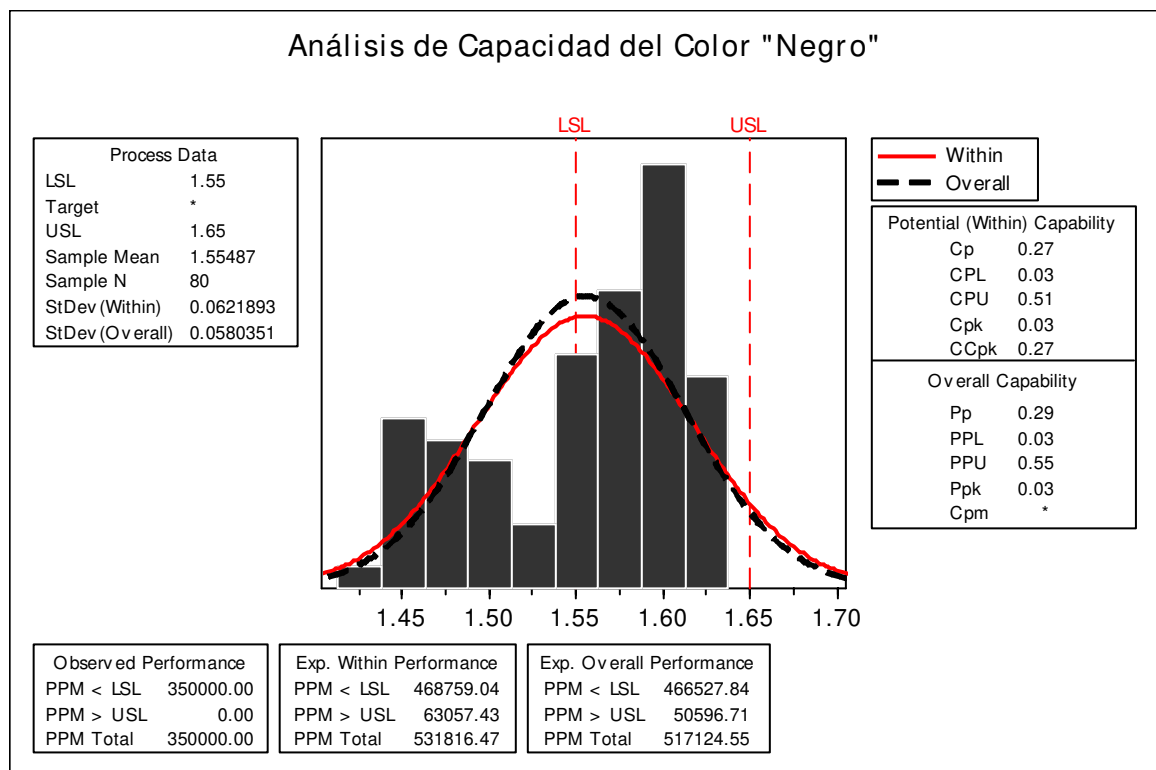


Figura 4.1: Análisis de Capacidad del Color Negro

En la siguiente tabla se muestra los resultados antes y después de implementar las técnicas sugeridas, idealmente se podrían esperar mejores resultados, sin embargo, al comparar los valores, se puede apreciar una mejora notable del proceso.

Tabla 4.1: Comparativo de valores para el color Negro

	Antes	Después
Tamaño n	80	80
$\bar{x}$	1.762	1.555
s	0.0361	0.058
C_{pk}	-1.01	0.03
P_p	0.46	0.29
P_{pk}	-1.03	0.03
PPM	999 020 defectuosos	517 124 defectuosos

Debido a la variabilidad que presenta el proceso, su capacidad no cumple con las especificaciones, sin embargo, se puede notar que la capacidad real del proceso ha mejorado luego de implementar el control en el proceso. Estos resultados son un monitoreo de una orden de producción específica por lo que para corroborar estos datos, es importante seguir con los monitoreos durante el proceso para los otros tres colores y con mayores muestras. Además es imprescindible realizar más experimentos en donde intervengan más factores a fin de encontrar mejores soluciones.

Luego de realizar la comparación en la tabla 4.1, se llega a deducir que los límites de especificación para el proceso, son bastante exigentes, y que en muchos casos, el “aspecto” general del producto tiene un mayor peso que el cumplimiento de los valores de densidad previamente establecidos, puesto que en muchos casos, los clientes califican al producto a nivel global y no por cada color. Lo que el cliente finalmente quiere es que entre una impresión y otra no haya tanta variabilidad entre el conjunto de tonos entregados en cada producción.

Por lo tanto para continuar con los monitoreos se mantendrá la utilización de las gráficas de control $\bar{X}$ -R con el mismo tamaño de subgrupo, una vez que se disminuya aún más la variabilidad del proceso y se logre centrar el mismo, se procederá a diseñar nuevas gráficas de control con nuevos tamaños de subgrupos, a través de la utilización de la curva característica de operación. La relación entre el porcentaje defectuoso en los lotes

sometidos a inspección y la probabilidad de aceptación de dichos lotes, permiten generar la curva característica de operación (CO).

Empleando una curva característica de operación y considerando un valor de $K = 1$, es posible evaluar los diferentes valores de potencia de la gráfica $\bar{X}$ -R dependiendo del tamaño del subgrupo. Este análisis permitirá establecer el tamaño del subgrupo que deberá ser tomado para el desarrollo de la gráfica. K representa la distancia en sigmas a partir de la cual la gráfica de control $\bar{X}$ -R debe ser capaz de detectar cualquier tipo de cambio en la media del proceso por encima de sigmas (K) seleccionados. En este caso el valor a utilizar de K es de 1 sigma, esto implica que cualquier movimiento de la media del proceso por encima de un sigma debe tener una probabilidad de detección importante (potencia de la gráfica).

Los valores de potencia ($1-\beta$) presentes para diferentes valores de n (tamaños de subgrupos) pueden ser apreciados en la siguiente figura (Figura 4.2).

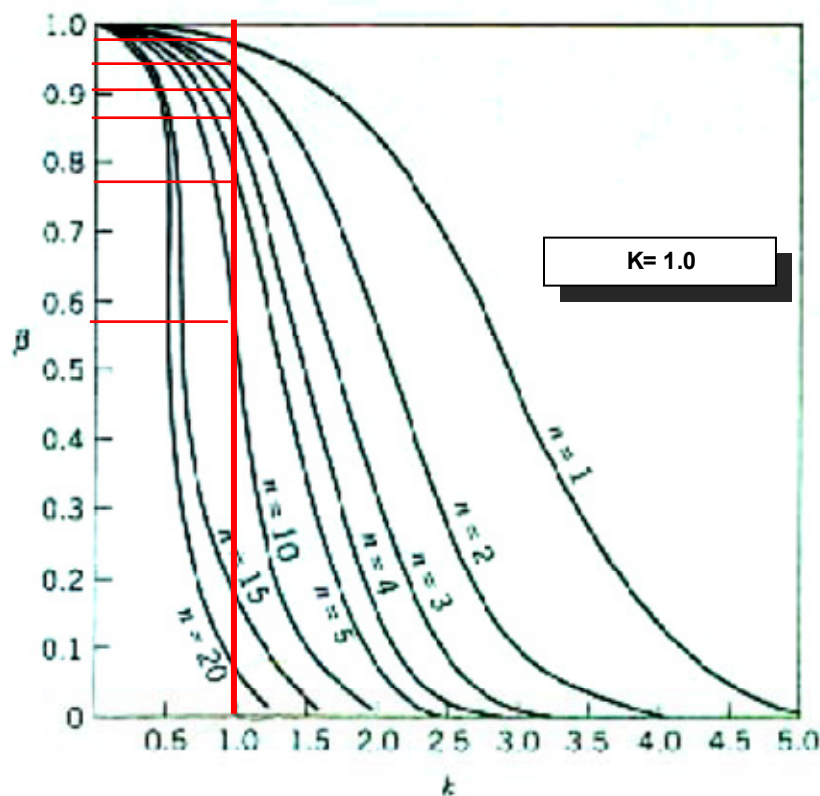


Figura 4.2: Curva Característica de Operación para valores de $K=1$

Como se puede apreciar en la Figura 4.2 para un valor de $K = 1$, se pueden tomar muestras de tamaño 3 o 4 con un desempeño similar, sin embargo, para que las mediciones

sean comparables con las realizadas la primera vez, se mantiene el tamaño del subgrupo de 4.

De la misma forma se mantendrá la frecuencia con que se realizará el muestreo, ya que según estándares establecidos en la industria gráfica, se recomienda que sea cada cierto número de impresiones y no cada periodo de tiempo, que en este caso sería horas.

Como el proceso de impresión es del tipo seriado, los trabajos que se sometan a la técnica de control, no tendrán la misma duración de impresión, puesto que depende de la cantidad o tiraje que requiera el cliente, por lo que la frecuencia de toma de subgrupos durante el proceso será a intervalos predeterminados de cada 200 tiros de impresión por cada orden de trabajo.

- Objetivo específico 4: Validar el sistema de control de variables en el proceso de impresión de la línea de litografía con el fin de aumentar la calidad en el producto terminado y disminuir los costos de producción.

Indiscutiblemente, este es el objetivo más importante de todos los planteados, ya que al demostrar el cumplimiento de este objetivo, se presenta el sentido propio de este trabajo, en donde se busca a través de la aplicación de herramientas para la mejora de la calidad, disminuir la dispersión de la variable “densidad” de tal forma que el proceso sea capaz de cumplir con las especificaciones establecidas, y se obtenga como resultado de este control la disminución de las devoluciones en por lo menos la prensa en la que se aplicó el sistema de control de variables, es decir, en la máquina SM 74.

De tal forma que, luego de calcular los límites de control para cada color, y de establecer a través de los resultados obtenidos en el diseño de experimentos, la mejor combinación a utilizar para la preparación de la solución de fuente en la máquina, se procede a monitorear el comportamiento de las devoluciones y sus correspondientes motivos durante los siguientes meses.

Es importante aclarar, que el monitoreo de la variable densidad se realizó únicamente en la prensa SM 74, ya que en esta máquina fue donde se encontraron la mayor cantidad de defectos por tonalidad. Asimismo, las mediciones y las gráficas de control que se utilizaron con sus respectivos límites corresponden exclusivamente a la recopilación de la información de órdenes de producción que utilizaron papel etiqueta.

Durante el proceso de impresión en papel etiqueta, se controló la densidad de los cuatro colores, pero se puso énfasis en el control de la densidad del color negro, ya que fue el color que tiene los menores resultados de capacidad con respecto a los otros tres colores.

Los datos que se recopilaban inicialmente para el diagnóstico de la situación de la empresa, corresponden a las devoluciones tanto en valores como en cantidades de los resultados obtenidos durante los meses de Enero a Julio (7 meses).

Por lo tanto, para validar los resultados obtenidos del sistema implementado, se recopiló la información relacionada a las devoluciones de los siguientes meses, es decir de Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre (4 meses), de tal forma que se pueda comparar el impacto económico antes de la implementación del sistema y después de su desarrollo en el proceso de impresión de litografía.

En la figura 4.3, se puede observar el comportamiento en cada mes del defecto variación de la tonalidad en la máquina SM 74, con respecto al total de las devoluciones, como se aprecia claramente en el gráfico, el mes que mayor impacto tuvo en las devoluciones fue el mes de mayo en el cual se recibió una devolución de 272 000 etiquetas con variación del color azul, que en este caso fue un color directo o pantone.

Se puede apreciar además que en el mes de Agosto se dejaron de recibir devoluciones en la máquina SM 74 por el motivo variación de la tonalidad, y que en los siguientes meses, no se recibieron devoluciones por variación de la tonalidad en ninguna máquina, cabe indicar, que en los meses de Agosto a Noviembre la compañía si recibió devoluciones de producto terminado de otros motivos pero no se reportaron devoluciones debido a variación de la tonalidad.

Lo ideal hubiera sido que no se recibieran devoluciones en los siguientes meses, para demostrar que se superó el objetivo planteado, sin embargo; con el control en el proceso de impresión, se pudo lograr que no siguieran aumentando las devoluciones por variación de la tonalidad.

Tabla 4.2: Comportamiento del motivo Variación de la tonalidad por mes

Año	2007
Área	(Todas)
Motivo	Variación de Tonalidad

Suma de C. Dev	Máquina				
Mes	GTO	PM 74	SM 74	Total general	% SM/Total
Enero		\$ 23.51	\$ 25.00	\$ 48.51	51.54%
Febrero		\$ 57.00	\$ 3,513.81	\$ 3,570.81	98.40%
Marzo			\$ 2,183.37	\$ 2,183.37	100.00%
Abril			\$ 1,754.29	\$ 1,754.29	100.00%
Mayo		\$ 446.04	\$ 4,515.12	\$ 4,961.16	91.01%
Junio			\$ 752.12	\$ 752.12	100.00%
Julio	\$ 252.00		\$ 274.32	\$ 526.32	52.12%
Agosto	\$ 135.20	\$ 838.55		\$ 973.75	0.00%
Total general	\$ 387.20	\$ 1,365.10	\$ 13,018.03	\$ 14,770.32	88.14%

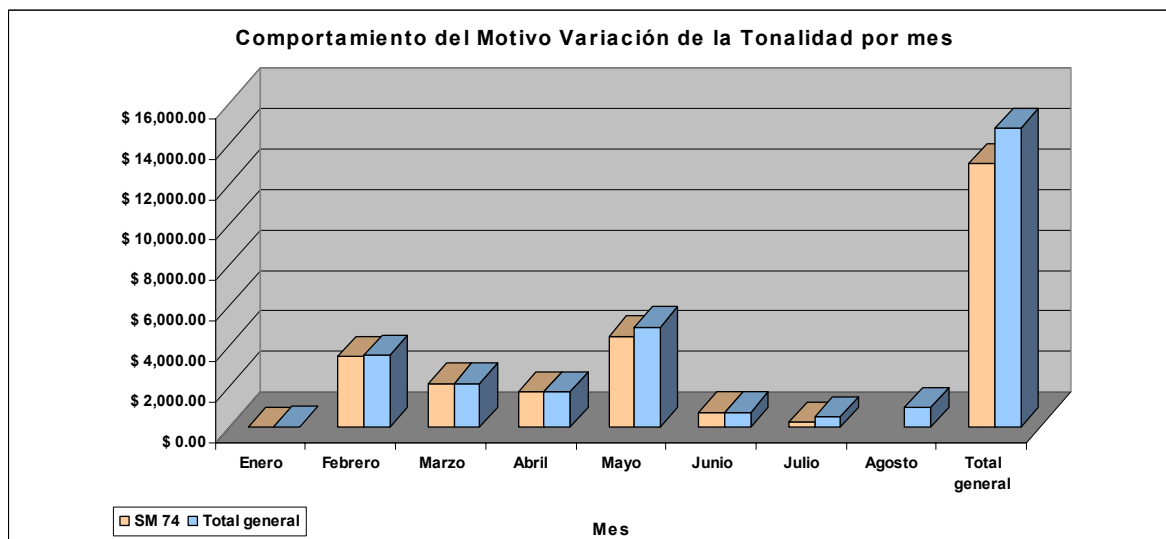


Figura 4.3: Comportamiento del motivo Variación de la tonalidad por mes

Aunque los controles aplicados fueron propiamente para observar el comportamiento de la densidad del color, se puede apreciar en la tabla 4.3 que indirectamente las devoluciones debido a los otros motivos también disminuyeron.

Esto se debe a que paralelamente al control de la densidad, cada operario de máquina verificaba el comportamiento de las otras variables, de tal forma que el trabajo en su conjunto, es decir, tonalidades, manchas, registros, mejore mes a mes.

Si bien es cierto que los resultados de las devoluciones con respecto al año anterior se incrementaron, se aprecia que durante el año existe un control y mejora del proceso de producción al obtener cada vez menos devoluciones con respecto a los meses anteriores.

Tabla 4.3: Cantidad de devoluciones recibidas por mes y por máquina

Año	2007
Motivo	(Todas)
Área	(Todas)

Cuenta de C. De Máquina				
Mes	GTO	PM 74	SM 74	Total general
Enero	1	3	2	6
Febrero	2	1	4	7
Marzo	2		8	10
Abril	2	1	2	5
Mayo		1	11	12
Junio		3	3	6
Julio	4	1	9	14
Agosto	5	1	6	12
Septiembre		1	5	6
Octubre	1	1	1	3
Noviembre		1	1	2
Total general	17	14	52	83

De la misma forma se observa en la tabla 4.4, cómo los costos por las devoluciones recibidas a medida que pasa cada mes van disminuyendo paulatinamente.

Tabla 4.4: Costo de devoluciones recibidas por mes y por máquina

Año	2007
Motivo	(Todas)
Área	(Todas)

Suma de C. Dev Máquina				
Mes	GTO	PM 74	SM 74	Total general
Enero	\$ 549.60	\$ 362.69	\$ 689.18	\$ 1,601.47
Febrero	\$ 616.00	\$ 57.00	\$ 4,813.81	\$ 5,486.81
Marzo	\$ 300.00		\$ 5,272.62	\$ 5,572.62
Abril	\$ 724.70	\$ 2,110.00	\$ 3,352.08	\$ 6,186.78
Mayo		\$ 446.04	\$ 9,419.79	\$ 9,865.83
Junio		\$ 3,040.88	\$ 2,912.71	\$ 5,953.58
Julio	\$ 841.86	\$ 97.16	\$ 2,080.08	\$ 3,019.10
Agosto	\$ 1,077.60	\$ 838.55	\$ 719.94	\$ 2,636.09
Septiembre		\$ 2,275.00	\$ 3,283.81	\$ 5,558.81
Octubre	\$ 112.75	\$ 355.00	\$ 83.00	\$ 550.75
Noviembre		\$ 80.46	\$ 77.00	\$ 157.46
Total general	\$ 4,222.51	\$ 9,662.77	\$ 32,704.02	\$ 46,589.29

El análisis para el costo de las devoluciones es similar al resultado obtenido en el número de devoluciones recibidas, en donde el costo acumulado de los once meses del año en curso va a ser superior con respecto al año anterior, ya que estos valores ya eran elevados al realizar el análisis hasta el mes de Julio, por lo que la disminución de los costos generada por la implementación del sistema de control de variables se analiza a nivel mensual.

Finalmente se muestra en la tabla 4.5, el comportamiento de las devoluciones recibidas con respecto a las órdenes de Producción generadas tanto del año 2006 como del año 2007.

En esta información, se compara mes a mes el porcentaje que representan las devoluciones con respecto a las órdenes de producción generadas, en donde a medida que avanzan los meses el porcentaje de las devoluciones aumenta sobretodo en el año 2007.

Sin embargo, es interesante notar en la tabla que en los meses de octubre y noviembre, tanto del año 2006 como del año 2007, el número de órdenes de producción es comparable, 111 vs. 110 en octubre y 150 vs. 143 en noviembre, y por lo tanto se puede notar claramente como con la aplicación del sistema de control de variables en el proceso de impresión el porcentaje disminuyó de un año a otro, 6.31% vs. 2.73% en octubre y 3.33% vs. 1.40% en noviembre, por lo que se puede concluir que gracias al sistema implementado; a partir del mes de agosto del año 2007 se comienzan a recibir menor cantidad de devoluciones, las cuales representan una disminución porcentual con respecto al año anterior en los meses de octubre y noviembre, obteniendo de esta manera los resultados esperados, y por tanto el cumplimiento del cuarto objetivo.

Sería importante además, incorporar nuevos estudios con otros tipos de materia prima, para de esta forma validar los límites de especificación establecidos, ya que en reuniones con expertos se notó que en la mayoría de los casos no se cumple con estos límites, lo que supone que en muchos casos, son más exigentes que los impuestos por el cliente, quien finalmente decide si un producto es aceptado o no. Por otro lado, esta hipótesis puede ser verificada al observar que en la muestra recopilada de los valores de la densidad del color negro, pese a no tener valores ideales en conjunto con el control de la densidad de los otros colores, permitió que el número de las devoluciones que recibió la compañía por motivos de variación de tono, disminuya paulatinamente. Sin embargo, estos resultados obtenidos, al no ser del todo ideales, sugieren que se continúe con el monitoreo de cada proceso, a fin de lograr en primer lugar centrar el proceso, y disminuir aún más la variabilidad de sus valores.

Tabla 4.5: Representación porcentual de las devoluciones

REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS DEVOLUCIONES CON RESPECTO A LAS OPS						
Mes	AÑO 2006			AÑO 2007		
	OP	Devoluciones	Dev/OP	OP	Devoluciones	Dev/OP
Enero	128	9	7.03%	117	6	5.13%
Febrero	122	3	2.46%	117	7	5.98%
Marzo	145	9	6.21%	104	10	9.62%
Abril	146	4	2.74%	95	5	5.26%
Mayo	172	4	2.33%	97	12	12.37%
Junio	185	3	1.62%	97	6	6.19%
Julio	140	3	2.14%	132	14	10.61%
Agosto	126	1	0.79%	105	12	11.43%
Septiembre	124	4	3.23%	104	6	5.77%
Octubre	111	7	6.31%	110	3	2.73%
Noviembre	150	5	3.33%	143	2	1.40%
Diciembre	104	7	6.73%	22	0	0.00%
Total	1,653	59	3.57%	1,243	83	6.68%

- Objetivo general: Desarrollar un sistema de control de variables en el proceso de impresión de litografía con el fin de mejorar la calidad del producto y disminuir los costos de producción.

Por lo tanto al cumplir los cuatro objetivos específicos propuestos al inicio de este trabajo, se cumple de forma similar el objetivo general, el cual originó el desarrollo e implementación de herramientas como Diagrama de Pareto, Diagrama Causa – Efecto, Control estadístico de procesos, Gráficos de control, Análisis de capacidad y Diseño de experimentos.

Por lo que se puede demostrar que gracias a la aplicación de este estudio, se mejoró la calidad del producto de la compañía y se logró disminuir los costos de producción.

- Hipótesis de la investigación

Si se implementa un sistema de control de variables en el proceso de impresión de litografía en una imprenta se mejorará la calidad del producto terminado y se disminuirán los costos de producción.

Se deja expresado, que la hipótesis de la investigación se cumplió, ya que al implementar un sistema de control de variables en el proceso de impresión de litografía, se logró mejorar la calidad del producto, y por lo tanto se disminuyeron los costos de producción.

En conclusión, se demuestra en este capítulo, como al realizar un seguimiento del comportamiento de la variable que influye mayormente en el problema de las devoluciones se logra controlar el proceso, lo que resulta en una mejora de la calidad del producto; esto se determina al recopilar los datos y obtener que el motivo principal por el que se recibían las devoluciones de trabajos provenientes de la máquina SM-74, no se repitió en los siguientes meses.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de cada herramienta de calidad dentro del proceso de impresión contribuyó en la mejora del proceso y por consiguiente en la disminución de los costos de no calidad, ayudando a la compañía a reducir paulatinamente sus devoluciones y permitiendo ser más competitiva en el mercado y recuperar su imagen ante los clientes.

2. Con el uso de herramientas de calidad como el diagrama de Pareto, diagrama causa- efecto y cuadros comparativos se pudo clasificar los inconvenientes que tiene la compañía así como los motivos de las devoluciones, permitiendo que se trabaje sobre los verdaderos problemas, sin gastar recursos materiales y humanos en aquellos que no representan valor económico para la empresa, como por ejemplo las devoluciones por motivo de materia prima.

3. Dentro de las gráficas de control, la prueba de patrones de inestabilidad por causas especiales fue de mucha utilidad ya que demostró que los procesos no se encontraban bajo la influencia de causas especiales, esta aseveración no se había tomado en cuenta en estudios anteriores ya que siempre se pensó que la influencia del operador durante la corrida de la máquina provocaba una variación significativa durante el proceso, y principalmente en las clavijas de la máquina, esta afirmación se rectificó al clasificar los valores de la densidad de la tinta en subgrupos racionales por corrida y no por clavija y obtener que el operador no influye como causa especial dentro del proceso de impresión.

4. El análisis de capacidad de los procesos, demostró claramente como a pesar de de que los valores de los cuatro colores se encontraban bajo control estadístico; estos no son capaces de cumplir con los especificaciones generando gran cantidad de impresiones defectuosas, además que permitió visualizar en forma gráfica el estado del proceso, lo que no se hubiera podido conocer si solamente se analizaba los resultados obtenidos de las gráficas de control $\bar{X}$ -R.

5. Al comparar los índices de capacidad por cada color, se detectó que a medida que el valor de la densidad aumenta, la capacidad del proceso disminuye. Adicionalmente, se encontró que la falta de capacidad del proceso se debe a una mala formulación de la solución de fuente.

6. Gracias a la implementación del diseño de experimentos 2^3 , se consiguió una mejor combinación de los factores para preparar la solución de fuente en la máquina SM 74, con un pH de 4.5, una conductividad de 800 y un porcentaje de alcohol de 10, logrando de esta manera obtener mejores resultados en la variable respuesta.

RECOMENDACIONES

Las siguientes son las recomendaciones propuestas para mantener el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente:

1. Continuar con la recopilación de datos tanto de las devoluciones, como de las órdenes de producción en cantidades y en valores, para obtener mayor información del comportamiento en los siguientes periodos.
2. Utilizar los límites de control de prueba calculados en este trabajo, a fin de monitorear el comportamiento del proceso, y verificar en el transcurso del tiempo si es necesario realizar un ajuste o cambiarlo a la realidad del proceso.
3. Aplicar el control del proceso de la variable “densidad” en los otros tipos de materia prima y en las otras dos prensas, a fin de establecer los límites de control de prueba para cada tipo de papel y prensa, y analizar la capacidad del proceso en dichos equipos.
4. Continuar con experimentos en el proceso de impresión y de ser posible incorporar nuevos factores de investigación con el fin de encontrar mejores soluciones.
5. Estudiar la factibilidad de desarrollar un estudio similar, en las otras áreas de la empresa, con el fin de implantar las técnicas y tecnologías propuestas en el proceso de impresión litografía, y alcanzar mayor eficiencia y ahorro de recursos, en cada uno de los procesos ya sean a nivel administrativo o a nivel de producción.
6. Comparar el impacto económico logrado, en cada proyecto desarrollado, con el fin de demostrar a la alta dirección las mejoras alcanzadas y su correspondiente ahorro en términos monetarios.
7. Desarrollar procedimientos o instructivos de trabajos referentes a las técnicas implementadas a fin de dejar documentado el uso de las herramientas, y difundirlos a través de un plan de capacitación para el operador a fin de asegurar la continuidad de las técnicas implementadas.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

1. ASQ: "ISO guía de lección 2000". Ed. ASQ Quality press. Milwaukee 2003
2. Barba, Enric, Boix, Francesc, Cuatrecasas, Lluís, Seis Sigma, Gestión 2000, Barcelona 2000
3. Crosby, Philip B., Quality is still free: Making quality certain in uncertain times, McGraw-Hill, 1996
4. Cuesta, Armando, "Tecnología de Gestión de Recursos Humanos" Ed. ISJAE. La Habana 2005
5. Deming, W. Edwards, La nueva economía, Díaz de Santos, 1994
6. Fandiño, José, Curso de Impresión Offset, Tecnografía, Bogotá, 2004
7. Feigenbaum, Armand D., Control Total de la Calidad, McGraw – Hill, 1991
8. Grima Cintas, Pere, Almagro, Lluís M., Tort-Martorell, Xavier, "Estadística práctica con Minitab", Person Prentice Hall, Madrid, 2004
9. Gutierrez, Humberto, de la Vara, Román, "Análisis y diseño de experimentos", Mc Graw-Hill Interamericana, México, 2003
10. Ishikawa, Kaoru, ¿Qué es el control total de calidad?, Norma, 1994
11. ISO 9000:2000, Sistemas de gestión de la calidad – Fundamentos y vocabulario, ISO, 2000
12. Juran, Joseph M., Gryna, Frank M. Manual del Control de Calidad, 1951

13. Kume, Hitoshi, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Grupo Editorial Norma, 2002
14. Lefcovich, Mauricio, Control y Reducción de Costos mediante el Control Estadístico de Proceso, 2003
15. Marsán, Juan, "La Organización del trabajo, Tomo I" Ed. ISJAE. La Habana 2000
16. Niebel, Benjamín, "Ingeniería industrial". Ed. AlfaOmega. México 2004
17. Prat, Albert, Tort-Martorell, Xavier, Grima, Pere, y Pozueta, Lourdes, Métodos estadísticos, control y mejora de la calidad, Ed. UPC, Barcelona, 1994
18. Robbins, Stephen, "Administración" Ed. Pearson Educación. México 2000
19. Shewhart, Walter A., Métodos Estadísticos desde el punto de vista del control de calidad, Unabridged Dover, 1986
20. Taylor, Frederick, "Principios de la administración científica" Ed. El Ateneo. Buenos Aires 1953

Artículos de Revistas

1. Amat, Rafael, "Como obtener y mantener una buena calidad de impresión" 8ª. Parte, Adelante Revista Gráfica No. 90 Edición Sexta, 2006, pp.18 - 19
2. Casals, Richard, "Actitudes frente a un exceso de capacidad del sector", Adelante Revista Gráfica No. 90 Edición Sexta, 2006, pp.24 - 25

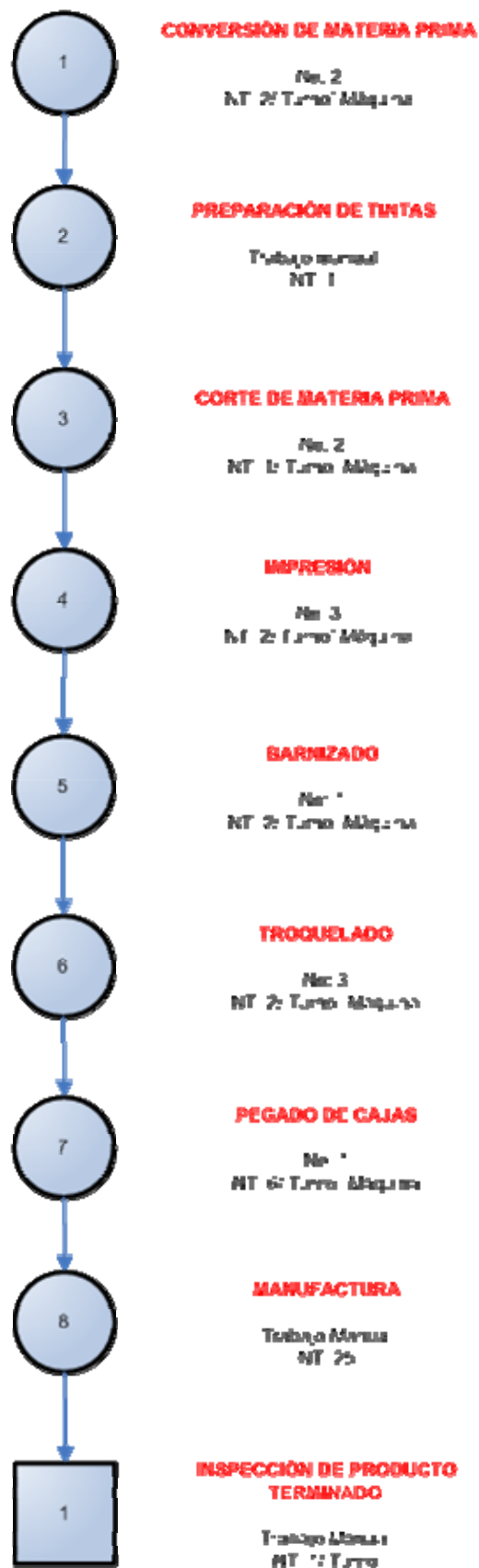
Páginas Web

1. Administración de la Calidad. Abril 2006. Disponible en <http://www.emagister.com/>
2. Teorías de Calidad. Julio 2007. Disponible en <http://www.gestiopolis.com/>
3. Densitometría. Fundamentos del control de calidad. Octubre 2007. Disponible en <http://www.hartmann.es/>

4. El color en número. Septiembre 2006. Disponible en <http://www.artesgraficas.com/>
5. El estándar ISO 12647-2 para impresión en litografía offset. Julio 2004. Disponible en <http://www.gusgsm.com/>
6. Un ejemplo de análisis de capacidad de procesos. Disponible en: http://www.uoc.edu/in3/e-math/docs/SPC_6.pdf

ANEXOS

- ANEXO A: Diagrama OPERIN del Proceso de impresión de Litografía



- ANEXO B: Tabla CHI CUADRADA

Nivel de Significancia					
gl	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	2.7055	3.8415	5.0239	6.6349	7.8794
2	4.6052	5.9915	7.3778	9.2104	10.5965
3	6.2514	7.8147	9.3484	11.3449	12.8381
4	7.7794	9.4877	11.1433	13.2767	14.8602
5	9.2363	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496
6	10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5475
7	12.017	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777
8	13.3616	15.5073	17.5345	20.0902	21.9549
9	14.6837	16.919	19.0228	21.666	23.5893
10	15.9872	18.307	20.4832	23.2093	25.1881
11	17.275	19.6752	21.92	24.725	26.7569
12	18.5493	21.0261	23.3367	26.217	28.2997
13	19.8119	22.362	24.7356	27.6882	29.8193
14	21.0641	23.6848	26.1189	29.1412	31.3194
15	22.3071	24.9958	27.4884	30.578	32.8015
16	23.5418	26.2962	28.8453	31.9999	34.2671
17	24.769	27.5871	30.191	33.4087	35.7184
18	25.9894	28.8693	31.5264	34.8052	37.1564
19	27.2036	30.1435	32.8523	36.1908	38.5821
20	28.412	31.4104	34.1696	37.5663	39.9969
21	29.6151	32.6706	35.4789	38.9322	41.4009
22	30.8133	33.9245	36.7807	40.2894	42.7957
23	32.0069	35.1725	38.0756	41.6383	44.1814
24	33.1962	36.415	39.3641	42.9798	45.5584
25	34.3816	37.6525	40.6465	44.314	46.928
26	35.5632	38.8851	41.9231	45.6416	48.2898
27	36.7412	40.1133	43.1945	46.9628	49.645
28	37.9159	41.3372	44.4608	48.2782	50.9936
29	39.0875	42.5569	45.7223	49.5878	52.3355
30	40.256	43.773	46.9792	50.8922	53.6719

- ANEXO C: Plantilla para recopilar datos del proceso de Impresión

[illegible]

Marca de Tinta: _____ **Operador:** _____



- ANEXO D: Plan de capacitación del empleado

REG 3.4.2-2 PLAN DE CAPACITACIÓN INTERNO

AREA: Producción Litografía
DIRIGIDO A: Prensistas y Ayudantes
LUGAR: Sala de sesiones y sala de prensa

TEMA	LUGAR	DURACIÓN	RESPONSABLE DE LA CAPACITACIÓN
Teoría: Conceptos básicos	Sala de sesiones	15 horas	Supervisor de Producción - Jefe de Gestión de Calidad
Partes de la prensa			
Sistema de humectación			
Sistema de entintado			
Alistamiento de la máquina			
Clases de papel			
Teoría: Proceso de impresión			
pH de la solución de fuente			
Conductividad			
Alcohol			
Densidad de la tinta			
Variables de control			
Defectos de impresión			
Selección de muestras			
Valoreación de muestras			
Práctica: En máquina	Sala de prensa	8 horas	Supervisor de Producción - Operadores de prensa
Control durante el proceso de impre			
Elaboración de gráficas de control			
Medición de Variables			
Teoría: Análisis	Sala de sesiones	4 horas	Operadores de prensa - Jefe de Gestión de Calidad
Análisis de resultados obtenidos			
Acciones para corregir problemas			
Práctica: En máquina	Sala de sesiones	3 horas	Operadores de prensa
Mejora del proceso estudiado			
Evaluación económica de la mejora	Sala de sesiones	2 horas	Jefe de Gestión de Calidad
Presentación de la mejora a la Gerencia	Sala de sesiones	1 hora	Jefe de Gestión de Calidad

REQUERIMIENTOS PARA LA CAPACITACIÓN:

(*) Especificar los recursos materiales o humanos para cumplir con la capacitación y el lugar donde el empleado será capacitado

	SI	NO
Proyector		
Computador		
Copias y material didáctico		
Libro: Procedimiento de Impresión		
Instrumentos: phmetro, densitómetro, conductímetro		
Software: MINITAB		