

# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES Y ATRIBUTOS PARA UN PROCESO DE IMPRESIÓN EN UN INDUSTRIA GRÁFICA

Martínez, L; Buestán, M.  
Maestría en Administración de la Producción  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[lmartin@espol.edu.ec](mailto:lmartin@espol.edu.ec), [mbuestan@espol.edu.ec](mailto:mbuestan@espol.edu.ec)

## Resumen

*El presente artículo describe, la aplicación de herramientas de ingeniería de la calidad en el desarrollo de un diagnóstico sobre un proceso de impresión en una industria gráfica de tamaño mediano y de administración familiar, que se dedica a la elaboración por lotes limitados de productos impresos en todo tipo de papel y cartulina.*

*Este trabajo surge como resultado de los constantes reclamos que recibió la compañía por parte de sus clientes, generando en muchos casos problemas de devolución, reprocesos, e incluso pérdida de clientes.*

*Inicialmente, a través de herramientas básicas para la mejora de la calidad, se identifican las causas que inciden en el proceso de impresión, posteriormente a través del diseño de un sistema de control se establece si el proceso se encuentra bajo control estadístico.*

*Finalmente se desarrolla un análisis de capacidad para variables y atributos y se establecen las recomendaciones necesarias para la mejora en el largo plazo.*

**Palabras clave:** Control estadístico de procesos, gráficas de control, calidad, impresión, densidad.

## Abstract

*The present article describes, the application of quality tool in the development of a diagnose in the print process in a medium family graphic industry, dedicated to print products in every kind of paper or cardboard in limited batches.*

*This work arises as a result of many customers claims that the company has received, generating in most of the cases product returns, reprocesses, and in extreme cases loss of clients.*

*Firstly it is identified through basics tools for quality improvement, the causes that affect in the print process, then with the design of a control system it is established if the process is under statistical control.*

*Finally, it is developed a capacity analysis for variables and attributes and it is given recommendations to improve the process in the long term.*

**Keywords:** Statistical Process Control, Control Charts, Quality, Print, Density.

## 1. Introducción

El trabajo que se presenta en este artículo se basa en un estudio realizado en una

industria que se dedica a la venta, producción y distribución de artículos impresos en todo tipo de papel y cartulina. Tiene dividida su línea de producción en dos rubros importantes: 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, y la línea de offset que es la más compleja debido a que tiene mayores procesos que la anterior, ya que en ella se imprime todo tipo de material publicitario o industrial tales como, tarjetas de presentación, folletos, cajas para empaque, etiquetas y cualquier otro tipo de impresión cuya función sea publicidad o empaque industrial.

Según el tipo de trabajo, depende el número de procesos al que este debe ser expuesto, los cuales pueden ser: Corte de materia prima, preparación de tintas, 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 de blocks.

Durante cada proceso, el departamento de control de calidad, realiza inspecciones visuales del producto y las compara con el arte o boceto aprobado por el cliente, de tal forma que este cumpla con las especificaciones requeridas. Una vez terminado el proceso de impresión, el trabajo es empacado y embalado, y se procede a enviar al lugar acordado por el cliente.

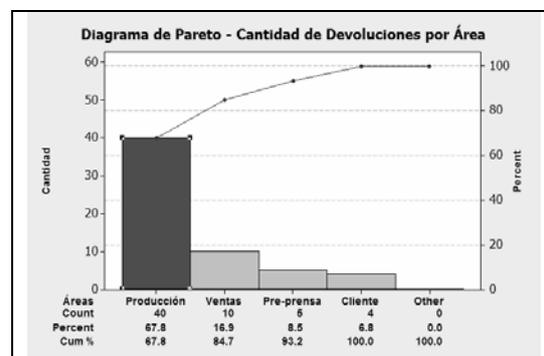
En el último año, se han recibido reclamos, debido a inconformidades en el producto, lo que en algunos casos ha resultado en devoluciones de producto terminado, y en otros hasta pérdida de clientes, se deduce inicialmente, que es debido a la falta de control durante el proceso.

El objetivo de este artículo, es el de presentar el desarrollo de un sistema de control de variables críticas basado en gráficas de control, con el fin de determinar si su comportamiento en el corto y largo plazo obedece únicamente a causas comunes o

especiales de variación y de esa manera poder tomar las medidas correspondientes ya sea por parte del operador o por parte de la dirección, dependiendo del tipo de fuente de variación presente durante el proceso.

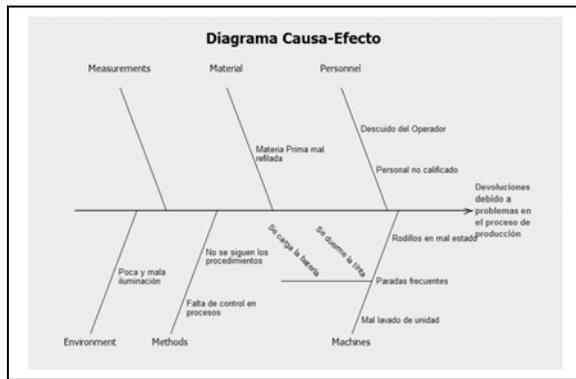
## 2. Diagnóstico del proceso

Con el fin de identificar los motivos y las áreas que están relacionadas con las devoluciones por parte del cliente, se procedió a realizar un diagrama de Pareto en el que se puede apreciar (Figura 1), que el área que tiene mayor incidencia en las devoluciones de producto terminado con un 68% viene dado por problemas de producción, mientras que el 32% resulta de errores de otras áreas como es el caso de errores en la toma de pedidos por parte de ventas (17%), errores en el texto por parte de pre-prensa (8%), e incluso errores del cliente por entregar malas especificaciones a la compañía (7%), en este caso puntual, las devoluciones no son aceptadas.



**Figura 1.** Incidencia de las áreas sobre las devoluciones.

Además se elaboró un diagrama de causa y efecto con el fin de profundizar aún más en las causas del problema y verificar si efectivamente se debe a una falta de control del proceso de producción. Como se puede apreciar en la figura 2, se detectó que las devoluciones se generan por problemas de método así como por problemas de máquina, provocando fallas de impresión y por consiguiente generando devoluciones.



**Figura 2.** Diagrama de causa y efecto del problema de devoluciones debido al proceso de impresión.

### 3. Descripción de la variable a medir

A partir del uso de herramientas como el diagrama de Pareto y de Causa-Efecto, se detectó que una de las causas de mayor impacto en las devoluciones del producto terminado, es la falta de control durante el proceso productivo, lo que provoca fallas en la impresión.

Dentro del proceso de impresión la variable más importante a controlar es la densidad de la tinta, la cual varía dependiendo del color y del tipo de papel en el que se va a imprimir. Esta variable es muy importante dentro del proceso de impresión, ya que todo cliente desea en una impresión final visualizar una uniformidad de tonos en la mayor parte del producto, por lo que una variación del color implica un reproceso total en el producto, es decir imprimir nuevamente el trabajo; generando costos más altos tanto para el cliente, como para la compañía.

Para denotar en forma de cifras la densidad (comportamiento de absorción) de una capa de tinta se han desarrollado instrumentos especiales denominados densitómetros, los que se utilizan en impresos (originales opacos) a partir de la reflexión del color.

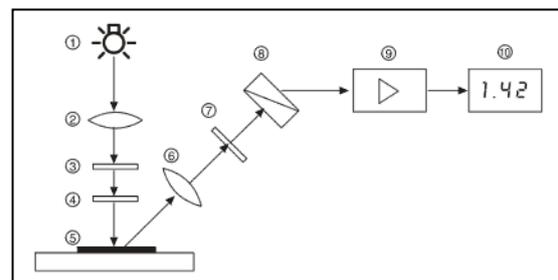
#### 3.1 Principio de medición de un densitómetro

El principio de medición de un densitómetro se parece mucho al principio que utiliza el impresor. La figura 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 la pigmentación de la tinta (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. En la pantalla (10) se indica como resultado la densidad del color medido.



**Figura 3.** Principio de medición de un densitómetro.

### 4. Selección y justificación del tipo de gráfica de control a usar

En este trabajo se decidió utilizar la gráfica de control  $\bar{X}$ -R, ya que se desea monitorear la localización y la dispersión (variación) de la variable "densidad" dentro del proceso de impresión. En este caso, los tamaños de muestras son constantes, y no existe inconveniente en tomar tamaños de muestra mayores a uno.

Todos los cálculos realizados en el desarrollo del trabajo, se refieren específicamente a la medición de la densidad del color amarillo en el proceso de impresión

sobre una superficie brillante, particularmente sobre un papel couché de 90 grs.

### 5. Selección del tamaño de muestra y frecuencia de muestreo

Debido a que este tipo de controles no se habían implementado anteriormente en el proceso de impresión de litografía, no se conocía el valor de  $\mu$  ni de  $\sigma$  de la variable respuesta “densidad”, por lo tanto se procedió a estimarlos utilizando una muestra preliminar de tamaño 80. Esta muestra fue tomada de la medición de la densidad del color amarillo en un papel couché de 90 grs. Obteniéndose los siguientes estadígrafos:

$$n = 80$$

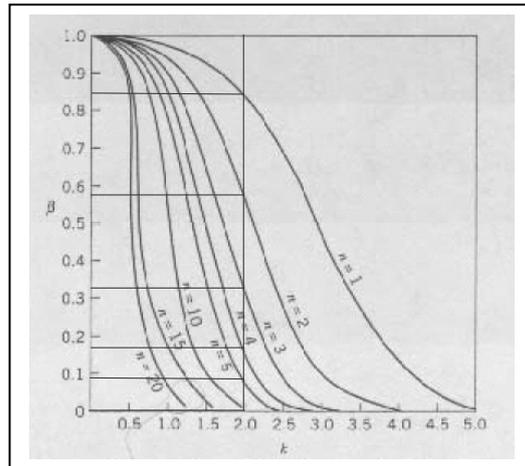
$$\bar{x} = 0.8930$$

$$s = 0.01667$$

Con estos valores, se procedió a calcular un valor que identificamos como K y que representa la distancia en sigmas a partir de la cual la gráfica de control debe ser capaz de detectar cualquier tipo de cambio en la media. En este caso el valor de K obtenido fue de 2 sigmas, esto implica que cualquier movimiento de la media del proceso por encima de dos sigmas debe tener una probabilidad de detección importante (potencia de la gráfica).

Empleando una curva característica de operación y considerando un valor de  $K=2$ , 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 de subgrupo que deberá ser tomado para el desarrollo de la gráfica.

Los valores de potencia (1-beta) presentes para diferentes valores de n (tamaño de subgrupos) pueden ser apreciados en la siguiente figura (figura 4).



**Figura 4.** Curva Característica de Operación para valores de  $k=2$ , con sus correspondientes valores de  $\beta$ .

Como se puede apreciar en la tabla 1 para un valor de  $k=2$ , y basados en el valor de la longitud de corrida promedio ARL1, que representa el número promedio de puntos que deberán ser graficados en la carta de control previo a que se pueda detectar el cambio, se pueden tomar muestras de tamaño 3, 4 y 5, con el mismo desempeño, sin embargo, la que mejor potencia presenta ( $1-\beta = 91\%$ ) se obtienen con  $n=5$ .

**Tabla 1.** Valores de ARL1 basados en un  $k=2$ .

n	$\beta$	$1-\beta$	ARL1	
1	0.84	0.16	6.25	6
2	0.58	0.42	2.38	2
3	0.32	0.68	1.47	1-2
4	0.18	0.82	1.22	1-2
5	0.09	0.91	1.10	1-2
10	0.00	1.00	1.00	1

En resumen, el tamaño de la muestra será  $n=5$ , para realizar la medición de la variable “densidad” del color amarillo, en papel esmaltado couché 90 grs. La frecuencia del muestreo no será basada en tiempo (horas, minutos); sino que se realizarán muestreos cada 150 unidades, según lo indicado en los procedimientos de la compañía.

## 6. Establecimiento del objetivo de la gráfica en función de la agrupación de los datos

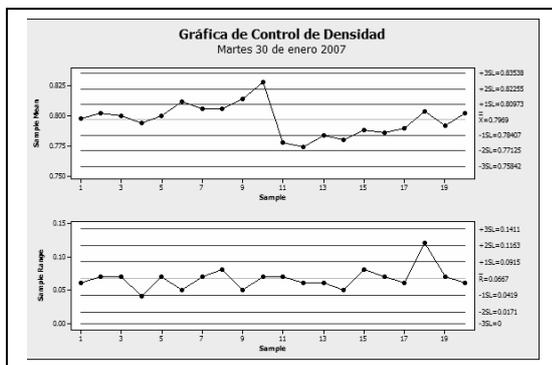
Dentro del tintero de cada máquina, existen diez clavijas, que arrojan una lectura por cada par de clavijas, es decir, cinco lecturas. Utilizando la gráfica de control  $\bar{X}$ -R, se desea monitorear el comportamiento de la densidad del color amarillo, a través de un muestreo de 20 corridas con 5 lecturas de cada par de clavijas por corrida. Los resultados del muestreo pueden observarse en la tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de la densidad del color amarillo con n=20.

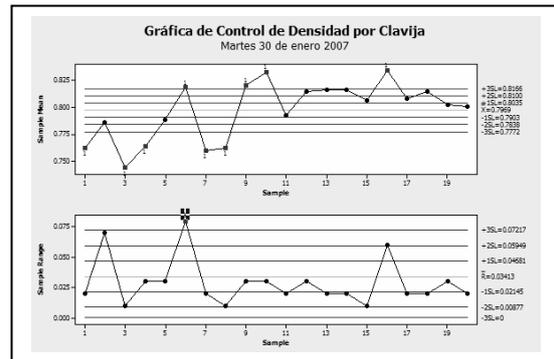
SUBGRUPO N°	DENSIDAD (AMARILLO)				
	X1	X2	X3	X4	X5
1	0.77	0.77	0.82	0.83	0.80
2	0.76	0.79	0.83	0.82	0.81
3	0.75	0.80	0.82	0.81	0.82
4	0.77	0.78	0.80	0.81	0.81
5	0.76	0.80	0.83	0.81	0.80
6	0.79	0.80	0.84	0.82	0.81
7	0.76	0.80	0.83	0.83	0.81
8	0.76	0.81	0.84	0.81	0.81
9	0.79	0.80	0.84	0.81	0.83
10	0.83	0.88	0.81	0.81	0.81
11	0.74	0.75	0.79	0.81	0.80
12	0.74	0.76	0.78	0.80	0.79
13	0.75	0.76	0.80	0.81	0.80
14	0.75	0.76	0.79	0.80	0.80
15	0.74	0.77	0.80	0.81	0.82
16	0.75	0.76	0.80	0.82	0.80
17	0.77	0.76	0.81	0.82	0.79
18	0.77	0.76	0.81	0.82	0.80
19	0.75	0.76	0.82	0.82	0.81
20	0.78	0.77	0.83	0.83	0.80

## 7. Desarrollo de la gráfica de control

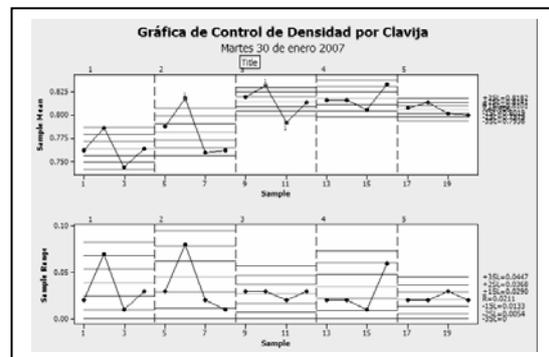
La primera gráfica desarrollada considera como subgrupo racional a las 5 mediciones obtenidas, una por cada clavija, en una corrida (Fig. 5) posteriormente se desarrollaron gráficas considerando como subgrupo racional a los valores obtenidos de una misma clavija en cinco corridas, figuras 6A y 6B.



**Figura 5.** Gráfica de control de la densidad del color amarillo en papel couché de 90 grs.



**Figura 6A.** Comportamiento de la variable densidad por clavija.



**Figura 6B.** Comportamiento de la variable densidad dividido en pares de clavijas.

## 8. Análisis de patrones

En la figura 5, que considera como subgrupo racional a cada corrida, se observa que en la muestra número 10, la densidad de la tinta se elevó súbitamente, esto originó que el operador calibrara inmediatamente las clavijas, lo que a su vez disminuyó el valor promedio de la variable, alcanzando el valor medio esperado nuevamente a partir de la corrida número 15. Este tipo de acciones “correctivas” no identifican el verdadero problema, y le dan el tratamiento de una causa especial a una causa común de variación. A esta mala práctica se la conoce también con el nombre de sobrecontrol.

La constitución del subgrupo racional de la figura 5 confunde en los promedios la variación generada por cada par de clavijas, recordemos que para esta figura cada punto graficado representa el promedio obtenido

por los cinco pares de clavijas. Esto no permite identificar de manera clara la causa origen de la variación y desemboca en vicios como el sobrecontrol descritos anteriormente en esta sección.

Al realizar el análisis considerando subgrupos racionales por clavija, se puede apreciar muy bien, que existen algunos puntos fuera de control, esto es en el par de clavijas 3-4 (2) y 5-6 (3) (Fig. 6B); que son específicamente las clavijas que generaron la aplicación del sobrecontrol.

Se puede por tanto establecer que son este par de clavijas (3-4 / 5-6) aquellas que están sometidas a causas especiales de variación y que por tanto requieren de un tratamiento especial para su eliminación. Nótese además que los pares de clavijas 1-2 (1), 7-8 (4) y 9-10 (5) no presentan causas especiales aunque si una diferencia significativa originada por causas comunes de variación.

En definitiva a través del análisis de patrones fue posible establecer que no todos los pares de clavijas estaban sometidas a los mismos problemas (especiales y comunes) y además se pudo conocer la magnitud y el sentido de las diferencias en la media que actualmente se presentan entre cada par de clavijas.

## 9. Análisis de capacidad para variables

Es importante anotar que el análisis de capacidad desarrollado en este caso tiene como objetivo únicamente obtener un valor informativo con respecto a los indicadores de capacidad del proceso en su conjunto (todas las clavijas), ya que al no existir estabilidad no es posible considerar los resultados de este análisis como una referencia sobre la cual se puedan tomar decisiones.

Para este análisis se usó las mismas 20 lecturas de las corridas de la densidad de la tinta; cabe indicar que estos datos seguían una distribución de tipo normal.

En la figura 7 se puede apreciar, que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones ya que el  $C_p < 0.67$ . Por otro lado se nota claramente que el proceso esta

descentrado. Esto se da por las diferencias presentes en el desempeño de cada par de clavijas que se puede notar en la figura 6B.

En el corto plazo se puede estimar de manera preliminar un total de 83,061 defectuosos (impresiones de papel) por cada millón elaborado.

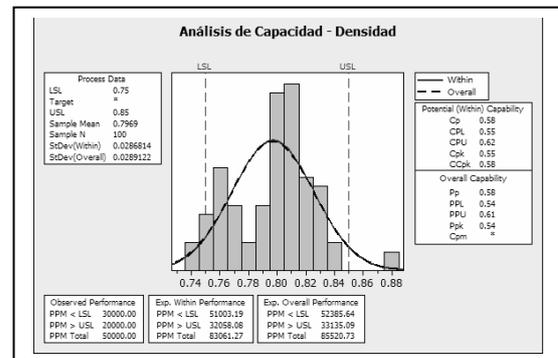


Figura 7. Análisis de Capacidad del proceso de impresión offset.

Con el fin de obtener un análisis completo y adecuado de la capacidad del proceso, es importante en primer lugar, estabilizar el comportamiento de las clavijas (3-4/5-6) y luego realizar un análisis de capacidad de cada una de ellas por separado.

## 10. Conclusiones y recomendaciones de la gráfica de variables

En esta etapa se puede concluir, que el proceso no está bajo control, y por lo tanto que hay que realizar muestreos adicionales, para comprobar la media y la desviación estándar del proceso. Que debido a que en el proceso interviene en gran medida el factor humano, ya que las máquinas no son automatizadas, hay que monitorear constantemente la variable densidad para asegurar su comportamiento.

Una vez que se garantice que el proceso está controlado, hay que verificar que esté centrado, a partir de lo cual, se deberá realizar nuevamente un cálculo de capacidad para analizar si el proceso es capaz o no de satisfacer los límites de especificación establecidos.

## 11. Descripción del atributo a evaluar

Dentro del proceso de impresión de offset uno de los atributos más controlados por su criticidad, es el número de manchas por cada trabajo. Este defecto, está directamente relacionado con la variable densidad del color, ya que ambos varían según el tipo de papel y según el tipo de color.

En el caso específico del color “amarillo”, la probabilidad que se identifique una mancha es bastante baja, por el contrario en colores oscuros como el negro la probabilidad que se detecte una mancha en un trabajo es bastante alta debido al contraste que existe entre el color negro y el color de la mancha que usualmente resalta por el papel blanco.

Generalmente, los problemas de manchas, se dan cuando existe mucha basura en el tintero de la máquina, provocando que el color no se transfiera totalmente a la superficie a imprimir y se genere un espacio en la impresión o mancha. Otro factor que influye en el defecto mancha, es el tipo de papel en el que se va a imprimir el trabajo, si el papel desprende mucha “pelusa” hay una mayor probabilidad que el trabajo salga manchado alterando la calidad del trabajo final.

## 12. Selección y justificación del tipo de gráfica de control a usar

En este trabajo se utilizará la gráfica de control c, debido a dos razones, en primer lugar, en el proceso de impresión es importante controlar el número de defectos en cada trabajo; ya que de la cantidad de defectos que se presenten depende que un trabajo sea considerado como conforme o no conforme. En segundo lugar, porque utilizando una gráfica de control de defectos se obtiene mayor información que en una gráfica de control orientada al número de defectuosos como las p o np puesto que no proporcionan ninguna en este caso específico, una idea acerca de la magnitud del problema en el proceso de impresión. Es por esto, que

en este trabajo, se puede utilizar la gráfica c sin ningún problema ya que el tamaño de los subgrupos será constante.

## 13. Selección del tamaño de muestra y frecuencia de muestreo

El tamaño de la muestra está basado en el mismo tamaño que se estableció para medir la variable densidad, es decir  $n=5$ .

Se procedió a registrar la cantidad de manchas observadas en las mismas muestras seleccionadas anteriormente y con una frecuencia de cada 150 unidades.

## 14. Establecimiento del objetivo de la gráfica en función de la agrupación de los datos

Utilizando la gráfica de control c para atributos, se analiza el número de defectos que se obtienen “dentro” de cada lectura de tamaño  $n=5$ , y así mismo se compara esa cantidad de defectos “entre” las 20 lecturas tomadas, esto con el fin de determinar si efectivamente la presencia de manchas está relacionada o no con los pares de clavijas que presentan problemas durante el proceso de impresión.

## 15. Desarrollo de la gráfica de control

Utilizando la herramienta Minitab, se obtuvo la gráfica de control c que se muestra en la figura 8.

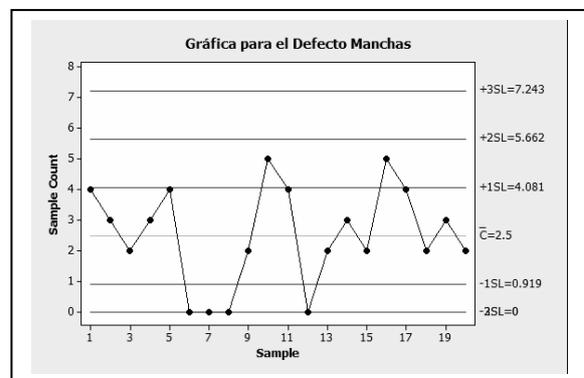


Figura 8. Gráfica de Control para el atributo manchas.

## 16. Análisis de patrones

Como se puede apreciar en la Figura 8, el número de defectos encontrados dentro del proceso de impresión prácticamente se mantiene dentro de  $\pm 1.5 \sigma$ , además se puede apreciar que en las lecturas 6, 7 y 8 se lograron 0 manchas. Por otro lado, en la carta de control para variables, cuando se hizo la lectura de la variable “densidad” se detectó que el valor en la muestra 9 estaba subiendo, lo que se refleja de igual manera en un incremento en el número de manchas a partir de la misma muestra. Esta relación se explica ya que hubo una subida en la variación de la densidad de la tinta, que provoca un repinte en el trabajo, y aumenta la probabilidad de aparición de manchas. Asimismo, se puede apreciar que hubo una causa especial de variación en el proceso ya que el operador tuvo que modificar los tinteros manualmente provocando esta variación del subgrupo.

## 17. Análisis de capacidad para atributos

A partir del análisis de capacidad generado en el software “minitab” es posible identificar que los datos siguen una distribución de tipo Poisson, esto nos confirma que la aplicación de la gráfica C fue adecuada para poder analizar el comportamiento del atributo. Se obtiene a través del cumulative DPU que el indicador tiende a estabilizarse en 2.5 DPU a partir de la muestra 20, esto nos demuestra que el número de muestras tomadas fue adecuado.

## 18. Conclusiones y recomendaciones de la gráfica de control para atributos

Al analizar el proceso de impresión, junto con el defecto manchas, se puede observar que el proceso se estabiliza en un promedio de 2.5 DPU. Este resultado debe ser verificado en futuras observaciones, ya que teniendo como base el número de muestras seleccionadas  $n=20$  este valor es muy alto, ya

que lo que se desea del trabajo final es que no existan manchas.

Tanto los resultados de las variables como de los atributos analizados en las gráficas de control, se ven afectados directamente por el sobrecontrol que debe realizarse en cada par de clavijas a lo largo del proceso de impresión por parte del operador, por lo que es importante que, se analice la posibilidad de disminuir la influencia que tiene el operador sobre los resultados que presenta este trabajo, que en su mayoría expone una alta variabilidad por la dependencia que tiene el proceso con el factor operador (causa especial). Adicionalmente, se debe actuar sobre las causas comunes de variación, que en este caso son el par de clavijas (3-4) y (5-6), a través de mantenimientos preventivos y calibración de tinteros, a fin de que se ajusten a las especificaciones de cada trabajo.

En definitiva, es necesario, ejecutar más observaciones con el fin de validar la información aquí descrita, y establecer estándares de control según el tipo de trabajo a realizar, con el fin de establecer la frecuencia de control por parte del operador durante el proceso, el ajuste y mantenimiento de clavijas por cada tipo de trabajo, a fin de que el proceso dependa lo menos posible de causas especiales, logrando estabilidad en el proceso, y por consiguiente mejora de la calidad del producto, derivándose en la disminución de las devoluciones de producto terminado.

## 19. Referencias

- [1] Buestán, M., *Ingeniería de la Calidad*, Maestría en Administración de la Producción, pp. Apuntes de clase.
- [2] Kume, H., “Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad,” Bogotá, Editorial Norma, 2002.
- [3] Prat, A., Tort-Martorell, X., Grima, P., Pozueta L., “Métodos Estadísticos control y mejora de la calidad,” Ediciones UPC, Barcelona, 1994.