

Aplicación de técnicas estadísticas para la validación de indicadores de desempeño de proceso. Caso: PyME flexográfica del GBA

Área temática: Gestión de Operaciones y Logística

Nicolao García, José Ignacio*; Morcela, Oscar Antonio ⁽¹⁾

**Maestría en Data Mining, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.
Intendente Güiraldes 2160 Ciudad Universitaria, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
ignacio@jing.com.ar*

*(1) Maestría en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Universidad Nacional de Quilmes.
Roque Sáenz Peña 352, Bernal, Buenos Aires. omorcela@cap.uvq.edu.ar*

RESUMEN.

Los métodos y técnicas del control de procesos se refieren a la aplicación de la teoría y la práctica del control a este campo. Desde el punto de vista de los procesos de fabricación, buena parte del desarrollo futuro se centrará en nuevas tecnologías. Diremos que una empresa es flexible debido a su adaptabilidad a los cambios en los productos fabricados, a sus características, a su demanda, etc. Este es un factor decisivo en la competitividad de las empresas, obligándolas a optimizar en un tiempo breve, tanto su nivel de producción como las características del producto.

Desde este contexto tenemos que contemplar el control de procesos, el cual no cabe duda que juega un papel esencial en la producción. El control estadístico de procesos se basa en analizar la información aportada por el proceso para la aplicación de técnicas y herramientas estadísticas de análisis que permitan optimizar los parámetros de gestión.

Dentro de los procesos productivos, la preparación de máquinas o puesta a punto (PAP) antes de comenzar la producción, es parte importante de los costos de procesos. Minimizarlos, influye de manera significativa sobre los beneficios de la compañía.

La PAP está formada por un conjunto de actividades que pueden medirse y estudiarse. El objetivo es identificar las causas raíces de los desvíos que se producen durante estas actividades.

El presente trabajo se realizó sobre una empresa del Gran Buenos Aires, dedicada a la producción de envases plásticos. El objetivo es estudiar los tiempos de PAP del proceso de Impresión para establecer las acciones a seguir para la mejora de las actividades.

A través de la estimación de los parámetros de las distribuciones de las tareas involucradas en la PAP del sector impresión, se analizaron y validaron los objetivos de producción implementados por la empresa para el control del proceso.

Palabras Claves: puesta a punto de máquina, control estadístico de procesos, indicadores de desempeño (KPI).

ABSTRACT

The methods and techniques used in process control are the theory and practice themselves of the Principles of Control applied to industrial processes. From the manufacturing processes perspective, the main part of the future development will focus on new technologies. We will then say that a company is flexible due to its adaptability to changes on the manufactured goods, their characteristics, their demand, etc. This is a decisive factor in the competitiveness of enterprises, forcing them to optimize, in a short period of time, both, the level of production and product characteristics. In this context, we have to consider process control as an essential issue in the production area. Statistical process control analyzes data provided by the process with statistical tools and techniques in order to optimize the management parameters.

In the production process, the production line setup before starting the production involves significant costs of processes. Consequently, minimizing setup times would directly make an impact on the company profits. The setup consists of a set of activities that can be measured and studied in order to analyze the root causes of deviations that occur during these activities.

This paper aims to study and analyze the objectives implemented by a company located in the Greater Buenos Aires for printing setup activities. They have been evaluated by estimating statistical distribution parameters involved in each of them.

Keywords: production line setup, Statistical Process Control, Key Performance Indicator (KPI)

1 INTRODUCCIÓN

Al hablar de la industria de procesos, aunque tiene unos límites difusos, nos referiremos al conjunto de industrias que, como la petroquímica, cemento, alimentación, farmacia, etc. fabrican productos de naturaleza más o menos continua (continuous manufacturing), en oposición a la que fabrica unidades diferenciadas de productos, tales como zapatos, automóviles o televisores (discrete parts manufacturing). Los métodos y técnicas del control de procesos se refieren a la aplicación de la teoría y la práctica del control a este campo. Aunque guardan, lógicamente, muchos aspectos comunes con otras áreas de aplicación, tienen también una variedad de enfoques específicos y prioridades diferentes. La industria de procesos ocupa un lugar destacado en la economía. Pocas cosas evolucionan aisladas y entre ellas la ciencia y la tecnología. Es cierto que, en particular el conocimiento científico, ha hecho contribuciones teóricas fundamentales de forma autónoma de las que solo se ha apreciado su valor muchos años después. No obstante, en un mundo como el actual donde la ciencia y la tecnología juegan un papel directo en la producción, no enfocáramos el tema adecuadamente si no consideramos el contexto socioeconómico y tecnológico en que se desenvuelve el control de procesos, así como las tendencias de la propia industria, a la hora de hablar de su futuro [1].

Vivimos en un mundo donde la internacionalización de los mercados, la competencia y el beneficio económico comparten cartel con las preocupaciones por el medio ambiente, el desarrollo sostenible y los esfuerzos de muchos países por incorporarse al desarrollo. La competencia y la internacionalización empujan a fabricar de forma más eficiente y flexible y a reducir los tiempos de puesta en el mercado de nuevos productos.

Desde el punto de vista de los procesos de fabricación, buena parte del desarrollo futuro se centrará en nuevas tecnologías, en particular las ya mencionadas de nuevos catalizadores, bioprocesos, membranas para separación de productos, microreactores, etc. que sin duda alterarán la forma de fabricación de muchos compuestos. No obstante, teniendo en cuenta el objeto de este artículo, nos centraremos en otros aspectos cuyas palabras clave son integración, flexibilidad y optimización.

Integración es un término siempre ambiguo cuyo significado depende del usuario que lo utilice.

La flexibilidad la consideraremos desde el punto de vista de la facilidad de adaptación a cambios en los productos que se fabrican, sus características, demandas, etc. Este es un factor decisivo en la competitividad de las empresas y obliga a cambiar la operación del proceso en un tiempo breve, tanto su nivel de producción como las características del producto. Por ello es previsible que en un futuro veamos aumentar los diseños de plantas multipropósito, lo que implica unas enormes demandas sobre los sistemas de control y gestión de la operación. También cobran especial interés la operación de plantas y procesos batch en forma multiproducto.

Optimización de procesos es también un término de múltiples significados. Para muchas personas de la industria su traducción inmediata será modificar el proceso, sus dimensiones o estructura, o buscar un nuevo catalizador, tecnología de fabricación etc. Va unida a la síntesis y a las tecnologías de procesos. Desde otro punto de vista, una persona con formación en control quizás utilice el término optimización en el sentido de cambios en la forma de operar un proceso que conduzca a una mejora expresada en términos de calidad, economía, seguridad, medio ambiente, etc.

La industria de procesos tiene ya un alto grado de lo que podemos llamar automatización básica; por otro lado los avances previsibles en el campo de los materiales, la analítica y la electrónica es muy probable que nos traigan nuevas generaciones de sensores y aparatos de medida que nos permitirán mejorar la información hoy disponible sobre el proceso e implementar lazos de control de variables clave para su operación.

Desde este contexto tenemos que contemplar el control de procesos, el cual no cabe duda que jugará un papel esencial en la producción. Pero cabe preguntarse, ¿cómo una tecnología madura que se usa como un elemento más en un proceso de mejora incremental con una evolución más o menos lenta?, o ¿cómo un factor de cambio a sistemas de fabricación totalmente nuevos posibilitando los mismos? Ello dependerá de diversos factores, entre ellos de nuestros esfuerzos y contribución para aportar soluciones y teoría que sean útiles a los problemas y tendencias antes mencionados.

Buena parte de las posibilidades de implementación de sistemas de control avanzado y optimización, y su extensión a nuevos campos, se basan en la disponibilidad de una mejor información del proceso. En parte, los nuevos sensores basados en espectroscopia, infrarrojos, etc. y sistemas de instrumentación proporcionarán nuevas medidas, pero para traducir éstas en información útil para control y otros niveles de decisión se necesitará un proceso de señal más sofisticado y avanzar en temas como estimación de variables no medidas usando sensores software, elaboración de índices de rendimiento económico y comportamiento dinámico de la planta en línea, sistemas de agregación de información para otros niveles, reconciliación de datos, etc.

Cualquier visión del futuro del control de procesos no puede apartarse de la forma en que los algoritmos pueden ser implementados para realizar el control físico del proceso. Uno de los rasgos de la sociedad actual es, sin duda, la disponibilidad a bajo precio de sistemas de cómputo y comunicaciones, lo cual previsiblemente continuará en el futuro, así como el papel que estas juegan en todos los ámbitos y la facilidad de interconexión debida a la extensión de los sistemas abiertos o los estándares "de facto". Ello facilita la utilización de enfoques y la implementación de soluciones impensables hace algún tiempo.

Un sistema de control estará siempre asociado al proceso o planta que controla y, por tanto, serán las condiciones exigidas al comportamiento de este las que demanden unas determinadas prestaciones al sistema de control. A menudo deberá satisfacer un gran número de especificaciones y frecuentemente existirán varias soluciones aceptables. El diseño suele aceptarse como bueno si en él se da un adecuado compromiso entre coste y prestaciones. El comportamiento se manifiesta en la evolución de las variables de salida del proceso o planta y puede medirse mediante índices de funcionamiento. El control deberá diseñarse de manera que se optimicen algunos de estos índices de funcionamiento, con ciertas condiciones o restricciones impuestas a las variables para asegurar el correcto comportamiento del sistema.

Se plantea así un problema de optimización, similar a los que se dan en otras aéreas la economía, ingeniería etc., cuya resolución puede abordarse por métodos matemáticos. En términos generales, el problema de optimización consiste en minimizar una función, denominada función objetivo, sujeta a determinadas restricciones. No vamos a abordar aquí el tema de la optimización de sistemas, desarrollado en tratados avanzados de ingeniería de control, sino a mostrar una serie de especificaciones generales de funcionamiento que deben cumplir los sistemas de control. De algunas de estas especificaciones se derivan índices de funcionamiento que pueden ser utilizados en el diseño de los sistemas de control, bien por el método de optimización o bien por otros métodos [2].

El "Control Estadístico de Procesos" nació a finales de los años 20 en los Bell Laboratories. Su creador fue W. A. Shewhart, quien en su libro "Economic Control of Quality of Manufactured Products" (1931) marcó la pauta que seguirían otros discípulos distinguidos (Joseph Juran, W.E. Deming, etc.). Sobre este libro han pasado más de 70 años y sigue sorprendiendo por su frescura y actualidad. Resulta admirable el ingenio con el que plantea la resolución de problemas numéricos pese a las evidentes limitaciones de los medios de cálculo disponibles en su época.

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo. Dado que su aplicación es en el momento de la fabricación, puede decirse que esta herramienta contribuye a la mejora de la calidad de la fabricación. Permite también amentar el conocimiento del proceso (puesto que se le está tomando "el pulso" de manera habitual) lo cual en algunos casos puede dar lugar a la mejora del mismo.

El Control Estadístico de Procesos se basa en analizar la información aportada por el proceso para detectar la presencia de causas asignables y habitualmente se realiza mediante una construcción gráfica denominada Gráfico de Control [3].

Las empresas productivas se deben adecuar cada vez con mayor velocidad a los vertiginosos cambios de los mercados y los requerimientos de los clientes. La competencia creciente y la especialización hacen que los precios los fije el mercado, pudiendo sólo mejorar la rentabilidad a través de la reducción de los costos generales.

Dentro de los procesos productivos, la preparación de máquinas o Puesta a Punto (PAP) antes de comenzar la producción, es parte importante de los costos de procesos. Minimizar estos costos, influye de manera significativa sobre los beneficios de la compañía.

La PAP está formada por un conjunto de actividades que pueden medirse y estudiarse. El objetivo es el de identificar las causas raíces de los desvíos que se producen durante estas actividades. Desde el punto de vista metodológico, el control estadístico sobre los procesos es un concepto ampliamente estudiado, pero la aplicación de técnicas de control estadístico a la PAP es un enfoque novedoso y poco explorado hasta el momento.

El presente trabajo se realizó sobre una empresa del Gran Buenos Aires, dedicada a la producción de envases plásticos. El objetivo es estudiar los tiempos de PAP del proceso de Impresión para establecer las acciones a seguir para la mejora de las actividades.

2 METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló de acuerdo al proceso que se describe a continuación:

2.1. Relevamiento de los datos actuales de la empresa: tiempo total de PAP y tiempos de cada actividad. Selección de la muestra considerada para el estudio.

2.2. Selección de las variables para el estudio.

- 2.3. Cálculo de medidas de tendencia central y dispersión
- 2.4. Diseño de los intervalos de clase y los Histogramas. Estimación de parámetros.
- 2.5. Cálculo de los intervalos de confianza de la media y el p-valor.
- 2.6. Análisis de las medias mensuales.

La recopilación de toda la información necesaria para poder llevar a cabo el trabajo se realizó en base al aporte de documentos y reportes generados por el sistema de base de datos utilizado por la empresa.

A lo largo del desarrollo del trabajo estos datos fueron procesados y analizados con la utilización de diversos software, tales como

- InfoStat, para procesamiento estadístico de los datos
- Excel, para el tratamiento de los datos y generación de tablas y gráficos.

3 DESARROLLO

3.1 Relevamientos de datos y selección de la muestra

Como se mencionó en la introducción, la PAP está formada por un conjunto de actividades. En el caso particular del proceso seleccionado para el presente estudio, existen 15 actividades, las cuales, pueden o no estar todas presentes en la preparación. Por motivos de confidencialidad de datos, se hará referencia a las actividades sólo con el número de orden. Como los valores estudiados corresponden a los tiempos en minutos, se identificarán las variables con los nombres T1, T2, ... , T15.

El proceso estudiado corresponde a una máquina nueva incorporada en la empresa en marzo de 2013. El período considerado para el estudio comprende desde marzo a diciembre del año 2013, ambos incluidos.

3.2 Selección de variables

Luego del estudio de las 15 actividades, se seleccionaron para el estudio 5 de ellas, las cuales representar el 63,4% del tiempo total de puesta a punto. El 36,6% se encuentra distribuido en las restantes 10 actividades, que por sus características particulares, no se incluyen dentro del estudio. En la tabla 1 se muestran los valores totales en minutos, de la PAP y las variables seleccionadas, como así también el porcentaje que representa de la puesta a punto [4].

	PAP	T1	T2	T3	T4	T6
Total (min)	83.275	17.380	3.995	13.895	8.480	9.026
% sobre PAP		20,9%	4,8%	16,7%	10,2%	10,8%

Tabla 1: PAP y Actividades. Minutos totales acumulados marzo 2013 a diciembre 2013

3.3 Cálculo de medidas de tendencia central y dispersión

En la tabla 2 se muestran los valores totales calculados para toda la muestra, calculados con Excel. Se realizó de esta forma para una mejor lectura e interpretación de los resultados obtenidos.

	PAP	T1	T2	T3	T4	T6
n de la muestra	908	829	362	765	814	606
Promedio	91,71	20,97	11,04	18,16	10,42	14,89
Media podada 5%	87,40	20,13	10,78	17,39	10,10	13,93
Desviación Estandar	61,49	11,91	4,75	10,86	4,31	10,81
mediana	75	20	10	15	10	10
Máximo	600	150	40	130	50	110
Mínimo	5	5	5	5	5	5
Rango	595	145	35	125	45	105
Cuartil 25%	55	15	10	10	10	10
Cuartil 75%	110	25	10	20	10	20
Distancia Inter cuartil	55	10	0	10	0	10
MAD	25	5	0	5	0	5

Tabla 2: PAP y Actividades. Valores acumulados marzo 2013 a diciembre 2013.

3.4 Histogramas y estimación de parámetros

Se realizaron los histogramas con InfoStat y se analizó cual es la distribución que mejor ajusta a los datos muestrales. Para ello se probaron distintas opciones, variando la cantidad de intervalos y las distribuciones. En los gráficos que se encuentran a continuación se muestra la alternativa seleccionada para cada muestra, indicando la función de densidad de probabilidades que mejor ajusta con sus respectivos parámetros.

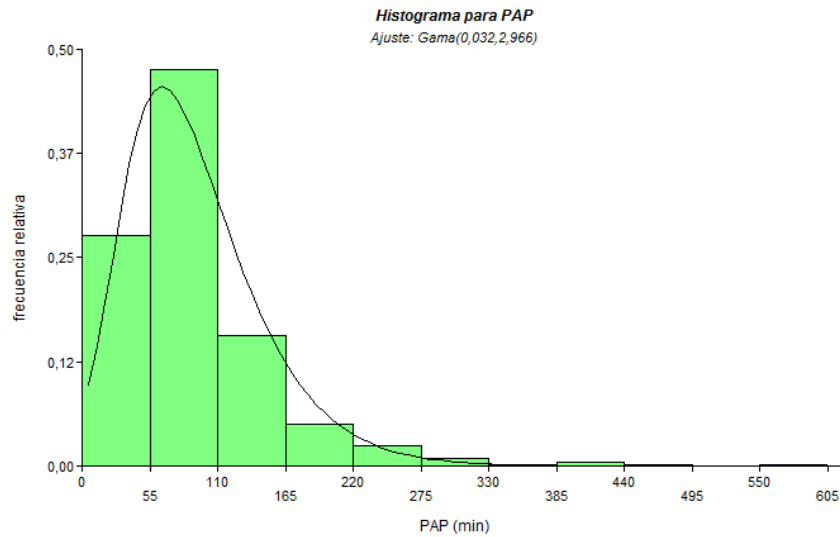


Gráfico 1: Histograma para PAP

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
PAP	1	[0,00 55,00]	27,50	251	0,28	
PAP	2	(55,00 110,00]	82,50	432	0,48	
PAP	3	(110,00 165,00]	137,50	142	0,16	
PAP	4	(165,00 220,00]	192,50	45	0,05	
PAP	5	(220,00 275,00]	247,50	22	0,02	
PAP	6	(275,00 330,00]	302,50	8	0,01	
PAP	7	(330,00 385,00]	357,50	2	2,2E-03	
PAP	8	(385,00 440,00]	412,50	4	4,4E-03	
PAP	9	(440,00 495,00]	467,50	1	1,1E-03	
PAP	10	(495,00 550,00]	522,50	0	0,00	
PAP	11	(550,00 605,00]	577,50	1	1,1E-03	

Tabla 3: Tabla de frecuencias para PAP

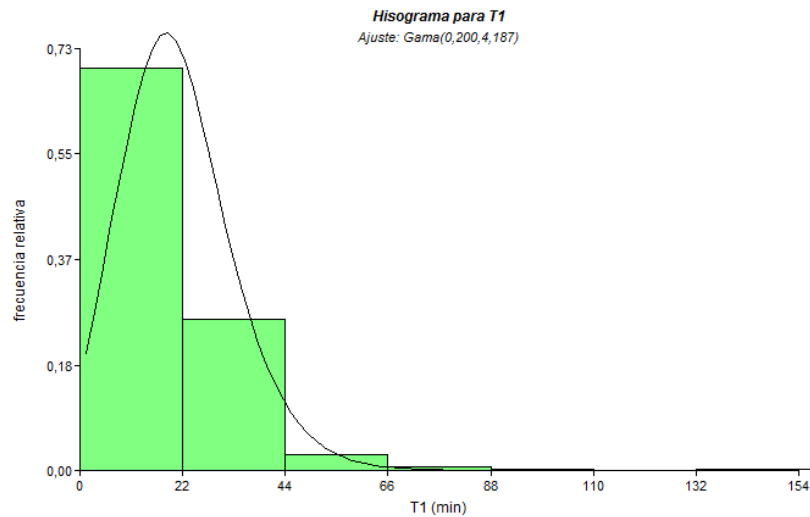


Gráfico 2: Histograma para T1

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
T1	1	[0,00 22,00]	11,00	580	0,70	
T1	2	(22,00 44,00]	33,00	218	0,26	
T1	3	(44,00 66,00]	55,00	23	0,03	
T1	4	(66,00 88,00]	77,00	6	0,01	
T1	5	(88,00 110,00]	99,00	1	1,2E-03	
T1	6	(110,00 132,00]	121,00	0	0,00	
T1	7	(132,00 154,00]	143,00	1	1,2E-03	

Tabla 4: Tabla de frecuencias para T1

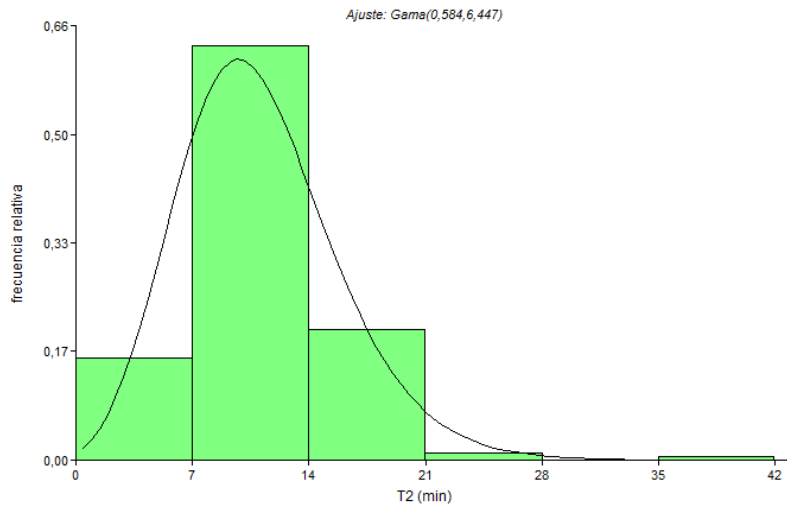


Gráfico 3: Histograma para T2

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
T2	1	[0,00	7,00]	3,50	56	0,15
T2	2	(7,00	14,00]	10,50	228	0,63
T2	3	(14,00	21,00]	17,50	72	0,20
T2	4	(21,00	28,00]	24,50	4	0,01
T2	5	(28,00	35,00]	31,50	0	0,00
T2	6	(35,00	42,00]	38,50	2	0,01

Tabla 5: Tabla de frecuencias para PAP

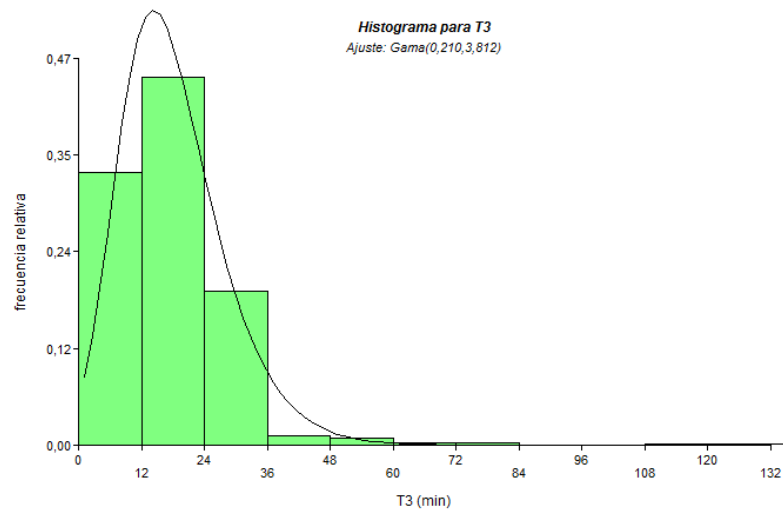


Gráfico 4: Histograma para T3

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
T3	1	[0,00	12,00]	6,00	255	0,33
T3	2	(12,00	24,00]	18,00	344	0,45
T3	3	(24,00	36,00]	30,00	144	0,19
T3	4	(36,00	48,00]	42,00	9	0,01
T3	5	(48,00	60,00]	54,00	7	0,01
T3	6	(60,00	72,00]	66,00	2	2,6E-03
T3	7	(72,00	84,00]	78,00	2	2,6E-03
T3	8	(84,00	96,00]	90,00	0	0,00
T3	9	(96,00	108,00]	102,00	0	0,00
T3	10	(108,00	120,00]	114,00	1	1,3E-03
T3	11	(120,00	132,00]	126,00	1	1,3E-03

Tabla 6: Tabla de frecuencias para T3

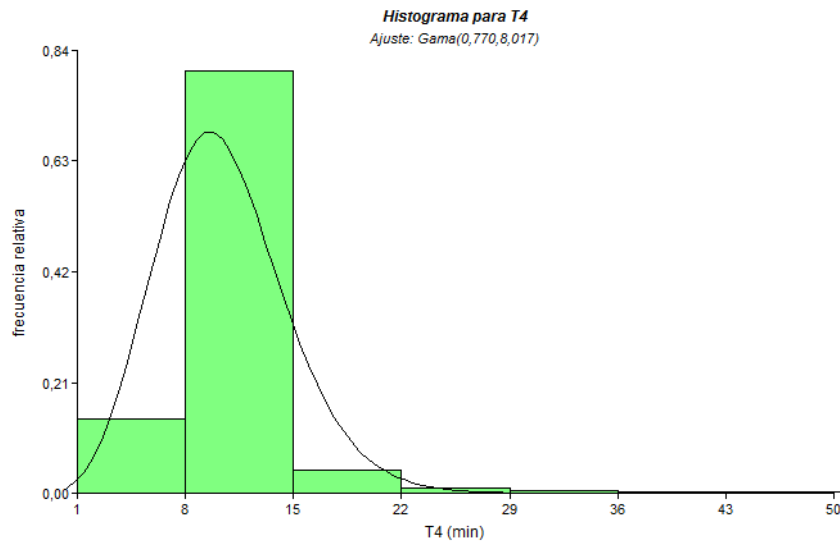


Gráfico 5: Histograma para T4

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
T4	1	[1,00	8,00]	4,50	115	0,14
T4	2	(8,00	15,00]	11,50	649	0,80
T4	3	(15,00	22,00]	18,50	36	0,04
T4	4	(22,00	29,00]	25,50	7	0,01
T4	5	(29,00	36,00]	32,50	4	4,9E-03
T4	6	(36,00	43,00]	39,50	1	1,2E-03
T4	7	(43,00	50,00]	46,50	2	2,5E-03

Tabla 7: Tabla de frecuencias para T4

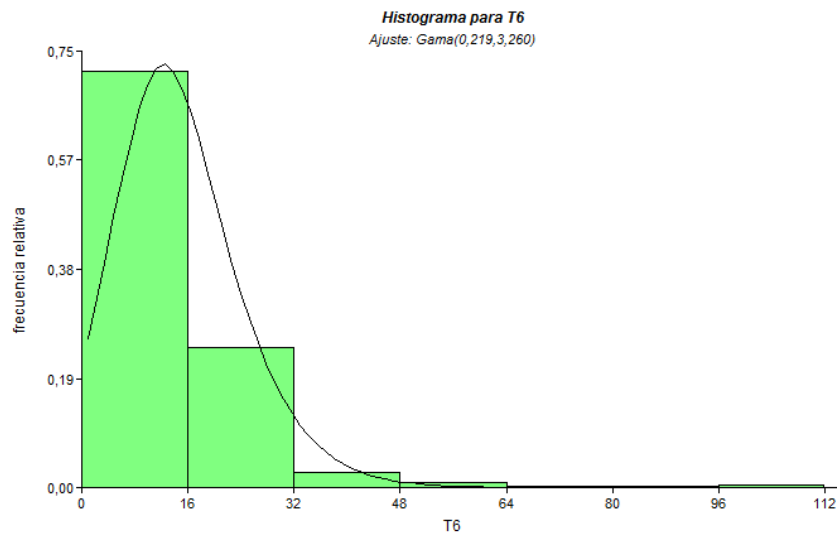


Gráfico 6: Histograma para T6

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
T6	1	[0,00	16,00]	8,00	435	0,72
T6	2	(16,00	32,00]	24,00	146	0,24
T6	3	(32,00	48,00]	40,00	16	0,03
T6	4	(48,00	64,00]	56,00	5	0,01
T6	5	(64,00	80,00]	72,00	1	1,7E-03
T6	6	(80,00	96,00]	88,00	1	1,7E-03
T6	7	(96,00	112,00]	104,00	2	3,3E-03

Tabla 8: Tabla de frecuencias para T6

3.5 Intervalos de confianza y p-valor

3.5.1 Cálculo de los intervalos de confianza para la media

Se realizaron los cálculos de los intervalos de confianza para la media de cada actividad utilizando el InfoStat. Los valores se muestran en la tabla 9.

Variable	Parámetro	Estimación	E.E.	D.E.	n	LI(95%)	LS(95%)
PAP	Media	91,33	1,99	61,49	908	87,42	95,23
T1	Media	20,97	0,41	11,91	829	20,15	21,78
T2	Media	11,04	0,25	4,75	362	10,55	11,53
T3	Media	18,16	0,39	10,86	765	17,39	18,93
T4	Media	10,42	0,15	4,31	814	10,12	10,71
T6	Media	14,89	0,44	10,81	606	14,03	15,76

Tabla 9: Intervalos de confianza para la media. Tipo: bilateral. Estimación: paramétrica.

3.5.2 Cálculo del p-valor

La empresa desea establecer objetivos de producción en el 2014 para cada actividad de la PAP del proceso estudiado. La dirección de la empresa propuso valores para los tiempos medios de las actividades. Los mismos se pueden ver en la tabla 10.

Variable	Media	D.E.	n	Objetivo
PAP	91,33	61,49	908	75
T1	20,97	11,91	829	14
T2	11,04	4,75	362	7
T3	18,16	10,86	765	14
T4	10,42	4,31	814	7
T6	14,89	10,81	606	15

Tabla 10: Datos para el cálculo del p-valor

Mediante el cálculo del p-valor, se estudió la factibilidad de que se alcancen esos valores, ya que las condiciones se siguen manteniendo constantes. El planteo del p-valor se observa en la Ecuación (1):

$$p_{\mu=\text{objetivo}}(\bar{x} \gg \text{media}) \quad (1)$$

Luego, utilizando la propiedad que las medias se distribuyen normalmente con parámetros μ y $\sigma/2/n$, y normalizando la variable como se expresa en la Ecuación (2), el p-valor se calcula para este caso como se muestra en la Ecuación (3):

$$x' = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (2)$$

$$p(\bar{x} \gg x') \quad (3)$$

A continuación, en la tabla 11, se observan los valores de x' y los resultados de los p-valor

Variable	Media	D.E.	n	Objetivo	x'	p-valor
PAP	91,33	61,49	908	75	8,00	< 0,001
T1	20,97	11,91	829	14	16,85	< 0,001
T2	11,04	4,75	362	7	16,19	< 0,001
T3	18,16	10,86	765	14	10,59	< 0,001
T4	10,42	4,31	814	7	22,63	< 0,001
T6	14,89	10,81	606	15	-0,25	0,5987

Tabla 11: Cálculo del p-valor

Se observa que el p-valor sólo obtiene valor alto para T6, es decir, que la probabilidad que se alcance el objetivo en las condiciones actuales es muy baja para las demás actividades y la PAP.

6 Análisis de las medias mensuales

6.1 Análisis ANOVA

Por medio de un análisis ANOVA, se estudió el comportamiento de las medias mensuales. El análisis se realizó por medio del InfoStat. En la tabla 12 se observan los resultados obtenidos en el análisis. Para las actividades T4 y T6 el valor arrojado para el p-valor < 0,0001 con lo cual podemos afirmar que las medias mensuales son significativamente distintas para una confianza del 99%. Para el caso de la PAP y la actividad T1 el valor arrojado para el p-valor < 0,0005 con lo cual podemos afirmar que las medias mensuales son significativamente distintas pero para una confianza del 95%. Para T2 y T. los valores p-valor > 0,0005, con lo cual no podemos afirmar que sean distintas.

Análisis de la varianza (SC tipo I)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
PAP	908	0,03	0,02	66,38	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	100945,83	9	11216,20	3,03	0,0014
Mes	100945,83	9	11216,20	3,03	0,0014
Error	3328318,15	898	3706,37		
Total	3429263,98	907			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T1	829	0,04	0,03	56,10	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4199,36	9	466,60	3,37	0,0004
Mes	4199,36	9	466,60	3,37	0,0004
Error	113278,63	819	138,31		
Total	117477,99	828			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T2	362	0,08	0,05	41,85	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	629,23	9	69,91	3,28	0,0008
Mes	629,23	9	69,91	3,28	0,0008
Error	7507,30	352	21,33		
Total	8136,53	361			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T3	765	0,01	9,0E-04	59,78	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1142,51	9	126,95	1,08	0,3775
Mes	1142,51	9	126,95	1,08	0,3775
Error	89002,06	755	117,88		
Total	90144,58	764			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T4	814	0,06	0,05	40,38	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	880,79	9	97,87	5,53	<0,0001
Mes	880,79	9	97,87	5,53	<0,0001
Error	14227,20	804	17,70		
Total	15107,99	813			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
T6	606	0,07	0,05	70,57	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4837,80	9	537,53	4,87	<0,0001
Mes	4837,80	9	537,53	4,87	<0,0001
Error	65851,44	596	110,49		
Total	70689,24	605			

Tabla 12: Cuadro de análisis de las varianzas de InfoStat.

6.2 Análisis de regresión

En la tabla 13 se observan las medias mensuales y sus desviaciones estándar. Se realizó un análisis mediante regresión lineal para observar el comportamiento en el tiempo de las medias. Los resultados se muestran en la tabla 14, donde se puede observar que sólo 2 de las actividades (T2 y T6) tiene un resultado satisfactorio al analizar el reporte. Si bien para el caso de la actividad T6 el R² es más bajo. Para el resto de las actividades, no existe una tendencia lineal de variación. En los gráficos 7 y 8 se observan los resultados gráficos de los análisis para las variables T2 y T6. En el gráfico 9 se observa el gráfico para la PAP. El mismo se analiza en las conclusiones.

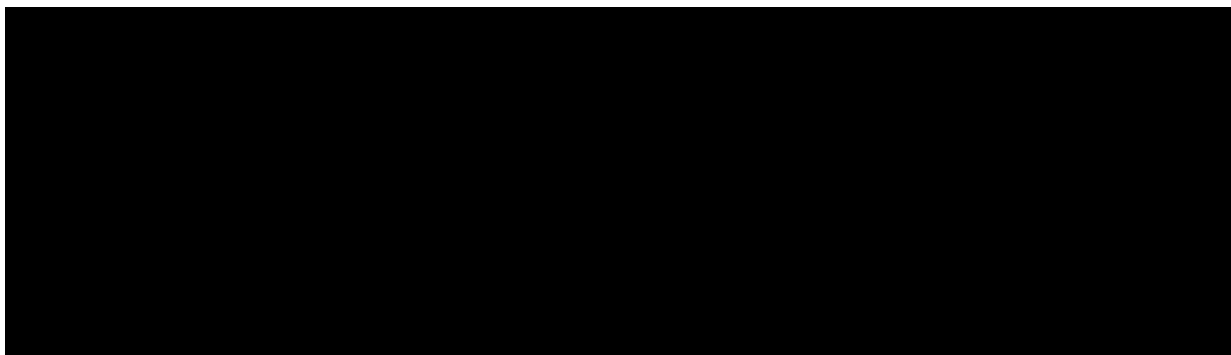


Tabla 13: Medias mensuales y sus D.E.

Análisis de regresión lineal (1ra parte)

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
PAP	10	0,19	0,09	215,60	79,76	80,67

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	105,74	9,56	83,69	127,79	11,06	<0,0001		
Mes	-1,63	1,19	-4,37	1,12	-1,37	0,2083	2,78	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	219,00	1	219,00	1,87	0,2083
Mes	219,00	1	219,00	1,87	0,2083
Error	935,34	8	116,92		
Total	1154,34	9			

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
T1	10	0,08	0,00	9,56	50,50	51,41

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	22,87	2,21	17,76	27,97	10,33	<0,0001		
Mes	-0,23	0,28	-0,87	0,40	-0,85	0,4211	1,75	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,51	1	4,51	0,72	0,4211
Mes	4,51	1	4,51	0,72	0,4211
Error	50,13	8	6,27		
Total	54,63	9			

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
T2	10	0,81	0,78	0,93	26,18	27,09

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	14,56	0,66	13,05	16,08	22,19	<0,0001		
Mes	-0,47	0,08	-0,66	-0,29	-5,81	0,0004	31,12	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18,59	1	18,59	33,76	0,0004
Mes	18,59	1	18,59	33,76	0,0004
Error	4,41	8	0,55		
Total	22,99	9			

Tabla 14 A: Análisis de regresión Resultados InfoStat.

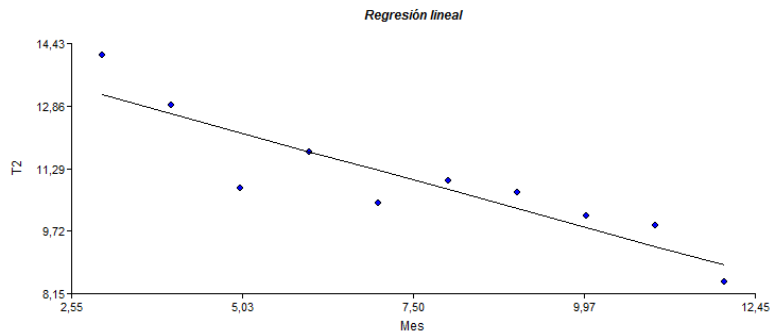


Gráfico 7: Regresión lineal para T2

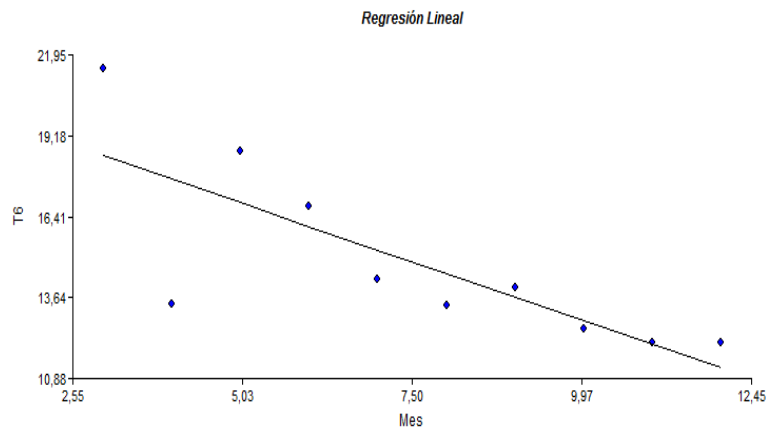


Gráfico 8: Regresión lineal para T6

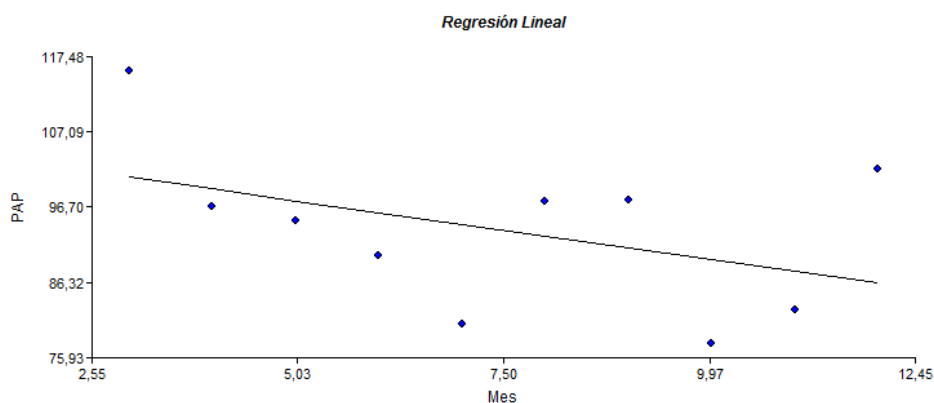


Gráfico 9: Regresión lineal para PAP

Análisis de regresión lineal (continuación)

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
T3	10	0,19	0,09	2,75	37,22	38,13

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	19,64	1,14	17,01	22,27	17,24	<0,0001		
Mes	-0,20	0,14	-0,52	0,13	-1,39	0,2030	2,82	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,19	1	3,19	1,92	0,2030
Mes	3,19	1	3,19	1,92	0,2030
Error	13,28	8	1,66		
Total	16,48	9			

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
T4	10	0,13	0,02	2,85	36,36	37,27

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	11,68	1,09	9,16	14,19	10,70	<0,0001		
Mes	-0,15	0,14	-0,46	0,16	-1,11	0,3002	2,20	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,87	1	1,87	1,23	0,3002
Mes	1,87	1	1,87	1,23	0,3002
Error	12,19	8	1,52		
Total	14,06	9			

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
T6	10	0,61	0,56	7,89	46,60	47,51

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	20,92	1,82	16,72	25,12	11,49	<0,0001		
Mes	-0,81	0,23	-1,33	-0,28	-3,56	0,0074	12,36	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	53,71	1	53,71	12,66	0,0074
Mes	53,71	1	53,71	12,66	0,0074
Error	33,95	8	4,24		
Total	87,66	9			

Tabla 16 B: Análisis de regresión Resultados InfoStat.

4 CONCLUSIONES.

Del análisis de los resultados obtenidos podemos concluir que todas las variables estudiadas poseen un histograma asimétrico izquierdo. Esto se debe a que predominan los valores bajos en algunos casos (T1 y T6) y los valores bajos y medios en otros. Por ejemplo para el caso de la PAP, se obtuvo que el 48% de los datos se encuentran entre los 55 y 110 minutos.

Respecto a los objetivos que la empresa quiere establecer, se observó que el único que está dentro de valores probables, es el correspondiente a la actividad T6. Para rediseñar los objetivos se propone utilizar los intervalos de confianza calculados en el presente trabajo como valores probables, si se mantienen las condiciones actuales. También sería importante un análisis cuantitativo y cualitativo de cada actividad en particular, para verificar los motivos por los cuales se encuentran los valores alejados de los objetivos.

Analizando las medias mensuales se observa un valor elevado en todas las variables para el mes 3. Esto se debe a fenómenos propios de la incorporación de una nueva maquinaria y su período de aprendizaje.

Se observa también una variación inestable para las actividades T1, T3 y T4. Esto puede deberse a factores externos no contemplados en el presente trabajo, ya que su variación posee períodos de crecimiento y decrecimientos abruptos de un mes a otro. La variación en las formas de medición o cambios en las metodologías y los operarios pueden producir este tipo de fenómenos.

Para el caso de la PAP se observa una primera etapa de decrecimiento, luego un aumento inesperado en 2 meses, para volver al valor mínimo y comenzar un crecimiento nuevamente. Es un fenómeno extraño en el comportamiento de la variable. Es recomendable analizar en profundidad esta actividad.

Las variables T2 y T6 tienen tendencia a la baja y a estabilizarse en los valores mínimos observados. Si no median modificaciones en las condiciones de trabajo, estas variables deberían continuar en el tiempo un comportamiento aleatorio normal con una media próxima a los valores mínimos observados en los últimos períodos.

En la aplicación de la técnica estadística descripta al particular caso de la PAP ha quedado en evidencia la validez del método y su versatilidad. La verificación de consistencia de indicadores es sin duda un factor que reviste una singular criticidad dentro de la teoría de control de procesos, ya que los indicadores son la piedra basal y patrón de referencia de cualquier sistema de gestión.

Es indispensable que el análisis profundo de éstos parámetros permita al nivel gerencial el ajuste de los parámetros de control que son los responsables de encender las luces de los tableros de comando, que en suma, terminan siendo la carta de navegación indispensable de toda empresa que pretenda sortear con éxito el turbulento mar, aprovechar los vientos favorables y alcanzar el buen puerto de sus objetivos.

REFERENCIAS.

- [1] de Prada, César (2004). *El futuro del control de procesos*. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Vol. 1, No. 1, pp 5-14. Universidad de Valladolid, España.
- [2] González de Durana, J. M. (2002). "Automatización de Procesos Industriales". Dpto. I.S.A., EUITI e ITT - UPV/EHU. Vitoria-Gasteiz.
- [3] Ruiz-Falco Rojas, Arturo (2006). "Control Estadístico de Procesos". Universidad Politécnica de Comillas. Madrid, España.
- [4] Johnson Dallas E. (1998). "Métodos multivariados aplicados al análisis de datos". Thomson editores. Méjico.