

Artículo No. 07: Cooz, G., et al (2016). Análisis de la capacidad Estadística del proceso de extrusión del perfil machihembrado en la planta PETROCASA Perfiles I. *Semilleros*, 3 (5), 75-86.

Análisis de la capacidad Estadística del proceso de extrusión del perfil machihembrado en la planta PETROCASA Perfiles I

Analysis of Process capability for machihembrado profile extrusion at PETROCASA Perfiles I plant Boyacá

Cooz Gabriela¹, Gallardo Anny², Fernández Yean³, Vela Manuel⁴

Resumen. En esta investigación se elabora el estudio del comportamiento y análisis de la capacidad del proceso de extrusión del perfil machihembrado del área de extrusión de la planta PETROCASA Perfiles I, dedicada a la formulación de compuesto de PVC y a la fabricación de perfil rígido de PVC, para paredes, techos y perfilería para la fabricación de ventanas panorámicas. Se aplicaron métodos de control estadísticos de procesos usando como herramienta el software del paquete estadístico MINITAB 17, y posteriormente se llevó a cabo la evaluación económica a través del método del valor presente neto (VPN) para alternativas múltiples. La aplicación de las herramientas estadísticas permitieron determinar que la variable peso por metro lineal se encuentra por encima de las especificaciones del fabricante, por lo tanto, el proceso tiene pérdidas económicas significativas. Finalmente, se concluyó que al menos una de las tres herramientas existentes, debe ser sustituida para aumentar la productividad del proceso.

Palabras clave: *Control Estadístico de Procesos, PVC, Capacidad de Proceso, Valor Presente Neto.*

Abstract. In this research it is made the study of behavior and analysis of the capacity of the extrusion process of MACHIHEMBRADO profile at the extrusion area of the PETROCASA PERFILES I plant, dedicated to the formulation of PVC compound and the manufacture of rigid PVC profile, to produce walls, ceilings and profiles for making panoramic windows. Methods of statistical process control were applied using MINITAB 17 as a tool the statistical package software, and then carried out the economic evaluation through the method of net present value (NPV) for multiple alternatives. The application of statistical tools allowed determining that the variable weight per linear meter is above the manufacturer's specifications, therefore, the process has significant economic losses. Finally, it was concluded that at least one of the three existing tools must be replaced to increase process productivity.

Key Words: *Statistical process control, PVC, Process Capability, Net present value.*

¹ Planta Perfiles I, PETROCASA, S.A., Guacara, Venezuela. gabrielacooz@gmail.com

² Planta Perfiles I, PETROCASA, S.A., Guacara, Venezuela. gallardo.anny@gmail.com

³ Planta Perfiles I, PETROCASA, S.A., Guacara, Venezuela. yeancarlosfernandez734@gmail.com

⁴ Planta Perfiles I, PETROCASA, S.A., Guacara, Venezuela. manuelmvela0@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En cualquier proceso se produce variabilidad que es aquella que por cambios o errores inevitables que modifican el proceso (ya sean pequeños o casi imperceptibles) bien sea por mano de obra, materiales, máquinas, medio ambiente, métodos o mantenimiento y que afectan posteriormente al producto que se produce (Bartes, Llabrés, Cinta, Pere, Fernández; 2004). Los errores debidos a causas aleatorias siempre se presentan en cualquier proceso por lo que primero se debe determinar el impacto asociado y verificar si el proceso es aceptable, para ellos se debe establecer límites que sirvan de guía para controlarlo e introducir mejoras cuando salga de estos parámetros, para esto se requiere un control estadístico. Un proceso está bajo control estadístico o en condición estable cuando su variabilidad se encuentra dentro del rango de aceptación definido previamente. (Bartes et al.; 2004)

La recolección de datos y el uso de métodos estadísticos para su tratamiento e interpretación, no implica en sí mismo la mejora continua al igual que el estudio y análisis de variaciones usando técnicas estadísticas puede mejorar el desempeño en cualquier tipo de proceso productivo y/o administrativo. ISO 9001:2015 sustituye el término *mejora continua* en esta nueva versión por el de *mejora*, en la cual la organización tiene la obligación de mejorar continuamente la idoneidad, adecuación y eficacia del sistema de gestión de la calidad, además de los procesos, los bienes y servicios en busca de dar respuestas a resultados de análisis de datos, cambios en el contexto de la organización, cambios en riesgos identificados y en nuevas oportunidades. Es por ello, que muchas organizaciones, utilizan herramientas estadísticas para

controlar la salida de los procesos, uno de ellos es el Control Estadístico de Procesos (CEP) el cual tiene el poder de mejorar la calidad, productividad y reducir costos. CEP es una metodología desarrollada para monitorear, analizar y mejorar los procesos y reducir su variabilidad. (Barrios; 1999).

Dentro del pensamiento de mejoramiento continuo existen técnicas de mejoramiento de procesos sencillos que fueron propuestas por Ishikawa y son útiles para resolver el 95% de los problemas que se presentan en la organización, parte de estas herramientas básicas son los Histogramas y Gráficos de Control. Un histograma es una gráfica adecuada para representar variables continuas, aunque también se puede usar para variables discretas. Es decir, mediante un histograma se puede mostrar gráficamente la distribución de una variable cuantitativa o numérica. Por su parte los gráficos de control tienen como objetivo detectar la presencia de causas de variación durante el proceso, con el propósito de identificar las dos fuentes, bien sean locales o del sistema. (Kazmier, Díaz; 1993)

Para realizar la evaluación de proyectos, existen algunos métodos, en este caso se realizará por Valor Presente Neto (VPN) (Sapag, Sapag; 2008), el cual es la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresado en moneda actual, este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si su valor presente neto (VPN) es igual o superior a cero.

El proceso de extrusión de perfiles de PVC consiste en gelificar el compuesto a través de la aplicación de calor y fricción entre dos tornillos sin fin, finalmente, el material pasa con cierta presión por una cavidad que le da una forma transversal

definida, a esta cavidad le llamamos “matriz o herramienta”.

El machihembrado es un tipo de perfil que se emplea para la construcción de techos.

La investigación que se pretende llevar a cabo persigue evaluar el comportamiento estadístico de los valores obtenidos de pesos por metro del perfil machihembrado que se procesa a través de las (03) tres matrices o herramientas, el 601807, 602023 y 2000327. Las dos primeras se encuentran en funcionamiento desde el año 2008 y el otro desde 2012.

El perfil machihembrado tiene una especificación de peso establecida por el departamento de Aseguramiento de la Calidad y se encuentra entre (LS – LI) kg/m; cumpliendo con la planificación de producción estratégica de la empresa esto se traduce en el procesamiento de 10000 toneladas al año de PVC. Sin embargo, se han presentado desviaciones con respecto a este parámetro por lo que se hace necesario evaluar los valores actuales y verificar su impacto en el presupuesto calculado inicialmente.

La vida útil de las matrices depende del buen uso y del mantenimiento correcto, tal como respetar los lapsos de tiempo de uso continuo, que las superficies de cavidades internas se mantengan tipo espejo de manera que permita mejor fluidez del material y un acabado con mayor brillo en el perfil, para esto se debe evitar ralladuras bien sea por objetos metálicos o por limpieza con materiales abrasivos inadecuados, incluso la experiencia del personal que se encarga de ejecutar estas actividades es

determinante. Cada limpieza elimina capas de material de la superficie del molde incrementando su espacio interno, el cual es ocupado en su totalidad por compuesto de PVC.

En el mismo orden de ideas, la mezcla polimérica de los perfiles de PETROCASA, S.A. se compone de Policloruro de Vinilo (PVC), cargas y aditivos, siendo las dos (02) primeras las que se utilizan con mayor proporción. La empresa PETROCASA, S.A. utiliza de 30 a 40 mil toneladas de PVC al año, pero se estima que su consumo será casi la totalidad del PVC que se produce en el Complejo Petroquímico Ana María Campos, aumentará a 120.000 toneladas anuales para cuando estén todas las fábricas de PETROCASA, S.A. en un cien por ciento instaladas a nivel nacional. Esto representa un compromiso de cumplimiento y eficiencia, no solo por los productos obtenidos sino por los costos asociados a ellos. Entre los productos con más demanda se encuentra el machihembrado, el cual se produce en todas las plantas de Perfiles y está presentando fuertes desviaciones con respecto a su peso por metro en las líneas que emplean las matrices que tienen más tiempo de uso.

Debido a lo anteriormente indicado, se busca analizar la capacidad del proceso de extrusión del perfil machihembrado en la planta PETROCASA Perfiles I mediante el Control Estadístico de Procesos para determinar desviaciones y plantear alternativas de mejora.

METODOLOGÍA

Este documento describe la aplicación de técnicas de Control Estadístico de Procesos a la perfilería de PVC rígido producida por la empresa de producción

social PETROCASA, S.A., específicamente en la Planta Perfiles I ubicada en Guacara, Estado Carabobo. Posteriormente, se emplea el método del

Valor Presente Neto (VPN) para Alternativas Múltiples, para evaluar la factibilidad económica de decisiones de inversión.

La investigación aplicada fue llevada a cabo en el Área de Extrusión, específicamente en tres líneas, TAG: L204, L205 y L208, cada una con su herramienta o matriz de producción del perfil Machihembrado, cuya identificación es 2000327, 601807 y 602023 respectivamente.

Las extrusoras procesan un compuesto de PVC rígido que es premezclado en una etapa anterior a la extrusión propiamente dicha y es distribuido a cada equipo mediante sistemas de transporte mecánico de materiales a granel.

El compuesto en polvo es procesado por la extrusora mediante etapas de calentamiento y posterior enfriamiento, con el objeto de que el perfil obtenga su forma definitiva. Posteriormente, cada perfil de machihembrado es cortado a una longitud estándar de 3,05 m.

El esquema de operación del Área de Extrusión labora de 24 horas continuas y está conformado por tres (3) grupos de trabajo que cumplen jornadas de ocho (8) horas cada uno, y para cada hora que el equipo de extrusión se encuentra en funcionamiento, un (1) Analista de Calidad toma una muestra de 1 m de longitud para registrar datos dimensionales, peso y ajuste en una (1) hoja de *Inspección de Producto en Extrusión*, y hacer otros ensayos.

La metodología aplicada consta de 2 etapas, enfocadas a analizar el parámetro peso por metro lineal (PL) de los perfiles extruidos, las cuales son descritas a continuación:

ETAPA I. Control Estadístico de Procesos:

a. *Partiendo de ficha técnica suministrada por el fabricante del*

equipo se obtiene el PL nominal ($X=0,86$ kg/m), el límite superior ($LS=0,96$ kg/m) y el límite inferior ($LI=0,76$ kg/m) de las condiciones de diseño, y es contra esta información que se determinan las variaciones en el proceso. Todas las herramientas tienen los mismos parámetros de diseño.

- b. *Se recabó la data correspondiente a 6 meses de trabajo, es decir, desde el mes de enero hasta junio 2016 de todas las herramientas existentes en la Planta Perfiles I.*
- c. *Se filtró la data perteneciente solo a la perfilería de machihembrado, específicamente de las herramientas 2000327 (L204), 601807 (L205) y 602023 (L208), haciendo referencia exclusivamente al parámetro PL. Es importante destacar que la herramienta 2000327 no es intercambiable, por lo tanto, solo puede ser instalada en la línea L204. Por otro lado, las herramientas 601807 y 602023, aunque si son intercambiables, acostumbran a correr en la línea L205 y L208 respectivamente, y solo bajo condiciones extraordinarias se instala alguna de las herramientas en la línea contraria.*
- d. *Empleando el paquete estadístico MINITAB 17, se calculan las medidas estadísticas de tendencia central (media, desviación estándar, rango) y las gráficas de distribución de frecuencias para cada herramienta.*
- e. *Para la evaluación de Control Estadístico de Procesos, en vista de que el volumen de datos es bastante elevado, se calculó el peso promedio para cada turno de trabajo, resultando en tres (3) medidas para cada día. Posteriormente, se tomó una muestra probabilística*

intencional que corresponde a 400 horas de trabajo, agrupadas en quince ternas de datos a los cuales se les calcula el promedio y el rango.

- f. Para cada herramienta se calcularon los límites de control ($LSC_{\bar{X}}$ y $LIC_{\bar{X}}$), desviación estándar ($V_{\bar{X}}$) y la capacidad del proceso (C_p y C_{pk}), siendo este último el objetivo principal del análisis estadístico, dado que este valor permite conocer la confiabilidad del proceso, o dicho de otra manera, la variabilidad del proceso respecto a los parámetros de diseño suministrados por el fabricante para el parámetro PL.

Para el punto f se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 * R \quad (1)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 * R \quad (2)$$

$$LSC_{\bar{R}} = D_4 * \bar{R} \quad (3)$$

$$LIC_{\bar{R}} = D_3 * \bar{R} \quad (4)$$

$$V_{\bar{X}} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (5)$$

$$C_p = \frac{E_s - E_i}{6 * V_{\bar{X}}} \quad (6)$$

$$C_{pk} = \frac{Z_{menor}}{3} \quad (7)$$

Dónde:

$\bar{X}$ = promedio general del peso por metro lineal (PL).

LSC_X = límite de control superior de la tolerancia natural.

LIC_X = límite de control inferior de la tolerancia natural.

LSC_R = límite de control superior de la tolerancia natural del rango.

LIC_X = límite de control inferior de la tolerancia natural del rango.

V_x = desviación estándar de grupo de control.

E_i = valor mínimo del grupo de control.

E_s = valor máximo del grupo de control.

C_p = índice de la capacidad nominal del proceso.

C_{pk} = Índice de la capacidad real del proceso.

N = número de muestras.

Por otro lado, se ingresa a la *Tabla de Constantes para Gráficas de Control XR* y se determinan $A_2= 0,373$, $D_3= 0,136$, $D_4= 1,864$ y $d_2= 2,847$.

Partiendo de los resultados obtenidos, se procedió a elaborar un estudio económico de factibilidad, con la finalidad de evaluar el impacto originado por las desviaciones del parámetro peso por metro lineal, y posteriormente plantear alternativas de mejora.

ETAPA II. Evaluación Económica a través del método del Valor Presente Neto (VPN) para Alternativas Múltiples:

- Se hicieron las estimaciones económicas anuales de operación de cada herramienta, usando dólares americanos (USD) como moneda de referencia. Esto implica estimar costos de materias primas empleadas y beneficio por ventas e inversiones si fuera el caso.
- Se construyó el diagrama de flujo de caja genérico para cada caso.
- Se empleó el método del Valor Presente para comparar la viabilidad de las alternativas de decisión, utilizando la tasa de interés de retorno de la inversión del 18%, tomando como referencia el Bono de Deuda Pública código DPBS08773-0016.

Finalmente, partiendo de los datos obtenidos en cada fase, se hacen las recomendaciones pertinentes.

RESULTADOS

Tal y como fue descrito en la metodología, esta investigación es abordada en dos (2) etapas, cuyos resultados son descritos a continuación:

ETAPA I. Control Estadístico de Procesos:

Partiendo de la data estadística recogida durante un período de seis (6) meses y empleando el paquete estadístico MINITAB 17 y un intervalo de confianza del 95%, se construyen los histogramas

de frecuencias para la variable PL y conocer el comportamiento de los datos.

En las figuras 1, 2 y 3 se puede observar que para todas las herramientas la distribución es normal, entonces es viable emplear las medidas de tendencia central como referencia para hacer las estimaciones y las comparaciones pertinentes, especialmente el valor promedio para cada herramienta (Tabla 1).

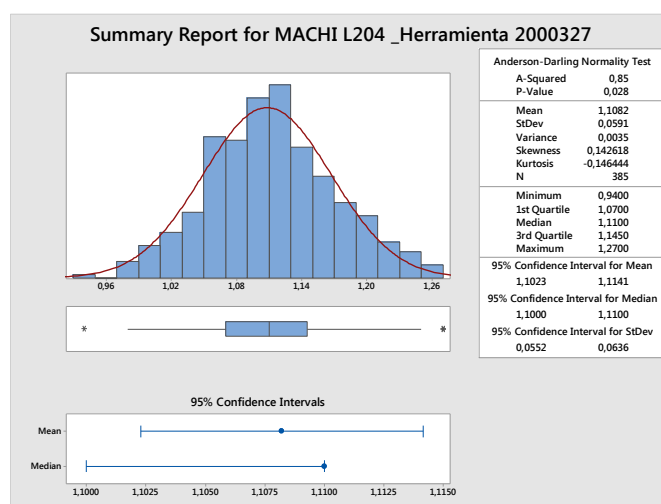


Figura 1. Distribución de frecuencias de variable PL para la herramienta 2000327 (L204).

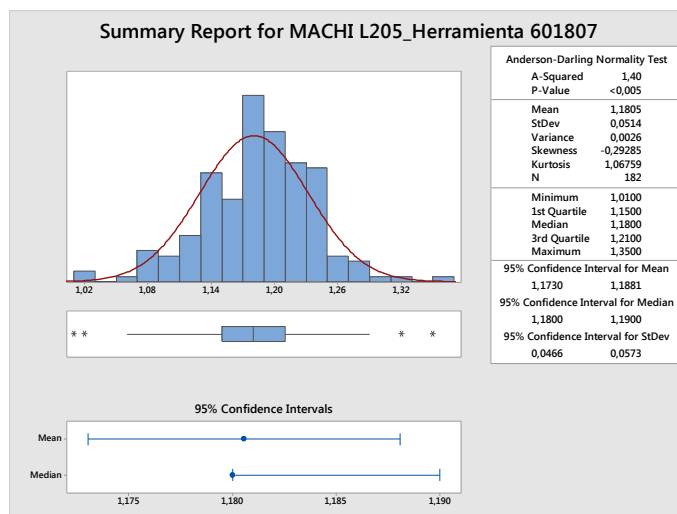


Figura 2. Distribución de frecuencias de variable PL para la herramienta 601807 (L205).

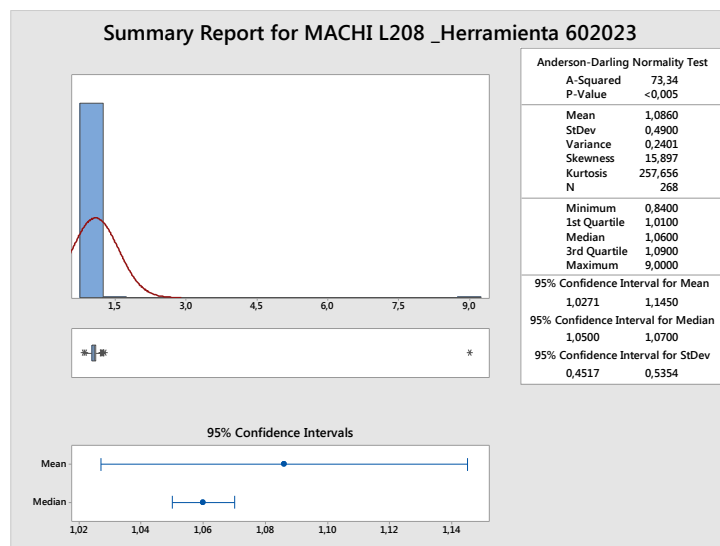


Figura 3. Distribución de frecuencias de variable PL para la herramienta 602023 (L208).

Tabla 1. PL promedio, límite superior y límite inferior de las herramientas 2000327, 601807 y 602023.

Indicador	2000327 (L204)	601807 (L205)	602023 (L208)
Promedio (X)	1,1082	1,1805	1,0860
Límite Superior (LS)	1,1512	1,2618	1,1618
Límite Inferior (LI)	1,0489	1,0982	0,9982
$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 * R$	1,1512	1,2618	1,1618
$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 * R$	1,0489	1,0982	0,9982
$LSC_{\bar{R}} = D_4 * \bar{R}$	0,12988	0,2060	0,2060
$LIC_{\bar{R}} = D_3 * \bar{R}$	0	0	0

Se calcula entonces la data necesaria para hacer el gráfico de control para cada herramienta (Figuras 4, 5 y 6), partiendo de la información de la Tabla 1, obtenida empleando las ecuaciones 1 a 4.

En todos los casos se hace evidente que el parámetro PL está fuera de los límites de control, por encima del límite superior (Figuras 4, 5, 6), lo que indica que se usando material en exceso, y si se toma como referencia el precio de venta, podría decirse que se está “regalando” compuesto de PVC. El más elevado de estos valores es el de la herramienta 2000327 (L205), cuyo PL promedio se encuentra 0,3205 kg por encima de la nominal de dicho molde (0,86 kg), seguido por la herramienta 2000327

(L204) y finalmente la 602023 (L208) con una diferencia de 0,2482 kg y 0,2260 kg respectivamente.

Por otro lado, la herramienta 2000327 (L205) tiene una desviación estándar (0,0514) inferior al de las otras dos, y tal como se observa en la Figura 5, una menor variabilidad. En consecuencia, se puede lograr una planificación de la producción más precisa y en el cálculo de los costos operativos con mayor exactitud.

En este sentido, la herramienta con mayor variabilidad es la 602023 (L208) ya que la variabilidad de los pesos medidos es la más elevada ($R=0,08$), logrando ubicarse en pocas ocasiones dentro de la banda definida por el fabricante, debajo del LS.

Partiendo de la Tabla 2, se puede afirmar que los tres (3) procesos están dentro de la categoría marginalmente capaz dado que todos los valores de C_p y C_{pk} son menores a 1, es decir, la variación es muy alta y existe un alto riesgo de que los

parámetros de proceso estén fuera de control, y con una proporción de defectuosos mayor en 27 en 10 mil piezas fabricadas. Para construir esta tabla se emplearon las ecuaciones 5 a 7.

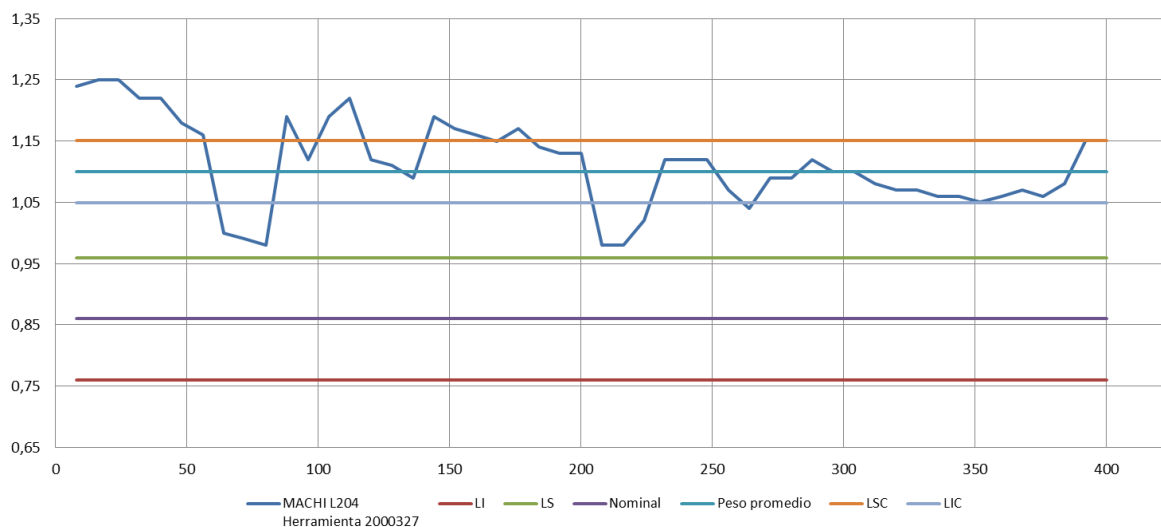


Figura 4. Gráfico de Control para la herramienta 2000327 (L204).

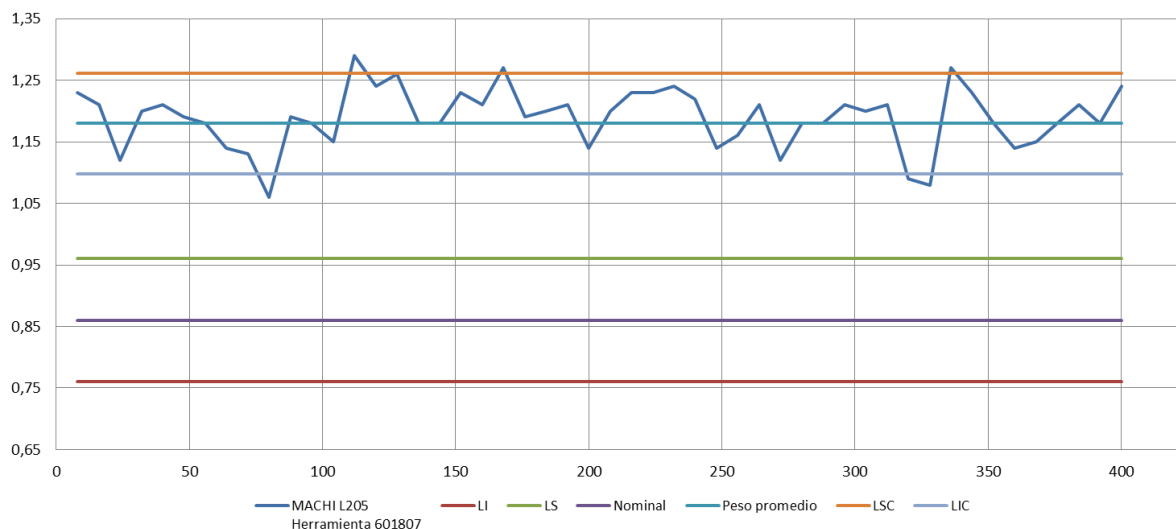


Figura 5. Gráfico de Control para la herramienta 601807 (L205).

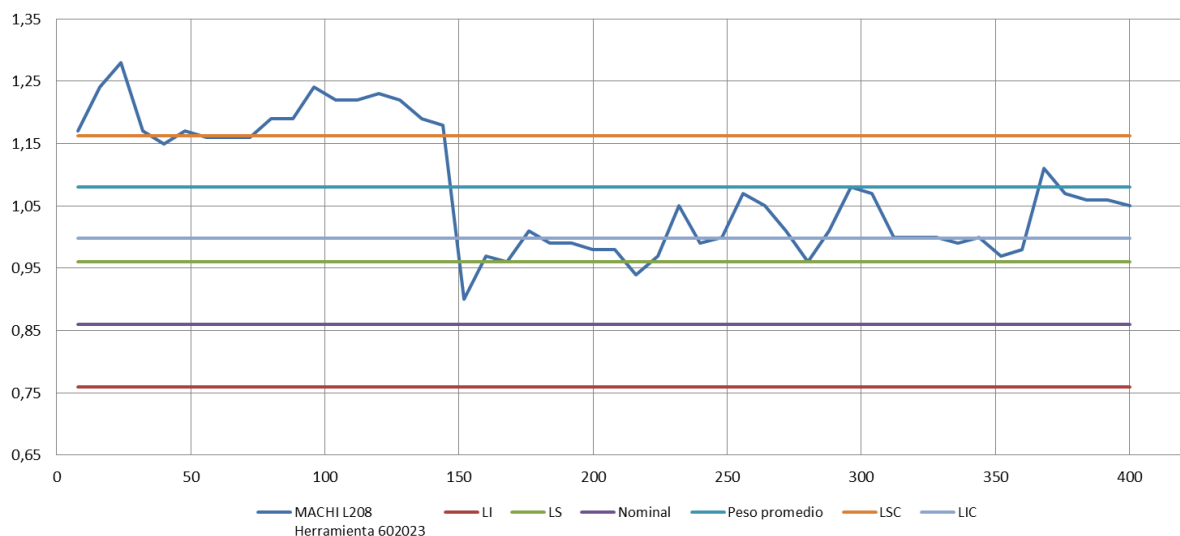


Figura 6. Gráfico de Control para la herramienta 602023 (L208).

Tabla 2. Desviación estándar y Capacidad de Proceso.

Indicador	2000327 (L204)	601807 (L205)	602023 (L208)
$V_{\bar{x}}$	0,1029	0,1354	0,1354
C_p	0,4373	0,3446	0,4185
C_{pk}	0,3887	0,4185	0,4431

ETAPA II. Evaluación Económica a través del método del Valor Presente Neto (VPN) para Alternativas Múltiples: Partiendo de lo anteriormente expuesto existen entonces dos alternativas de mejora al problema, definidas de la siguiente manera:

Se continúa produciendo con la herramienta existente y se calcula el Valor Presente Neto (VPN) para el período de vida que le resta a cada una,

para evaluar si dicha herramienta está produciendo ganancias o pérdidas a PETROCASA, S.A. (Figura 7).

Se plantea un escenario hipotético donde se procura una nueva herramienta de machihembrado y se evalúa el VPN para un período de tiempo equivalente a la vida útil de cada herramienta que actualmente se encuentra instalada (Figura 8).

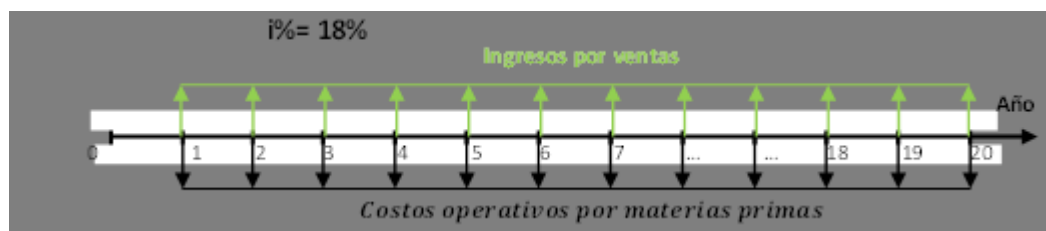


Figura 7. Diagrama de flujo de caja genérico sin inversión inicial.

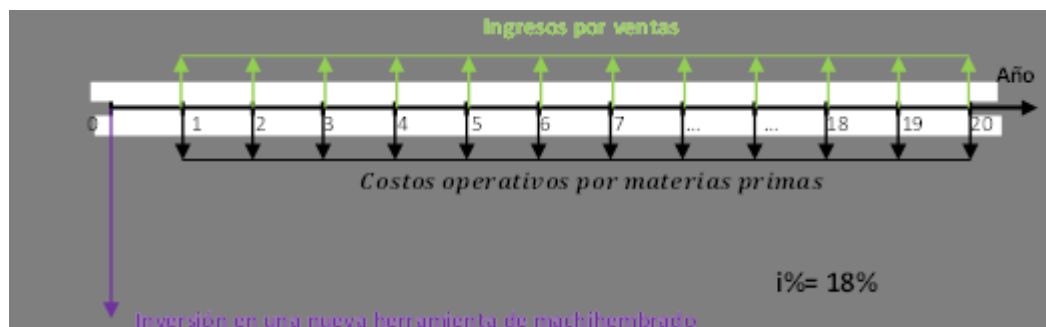


Figura 8. Diagrama de flujo de caja genérico con inversión inicial en una nueva herramienta.

Para ambos casos (Figuras 7 y 8), los costos operativos resultan de calcular los consumos de materias empleadas (MP) para la producción, dado que para cualquier alternativa los costos de mano de obra, servicios, maquinaria, entre otros, serán los mismos indistintamente

de la alternativa de seleccionada. Para los cálculos, la longitud del producto se estandarizó a 3,05 m a un costo estimado de \$5,20 cada pieza (costos operativos más el 30%) y bajo un esquema de 260 días al año para producir (Figura 9).

Tabla 3. Parámetros estándar para cálculo de Costos Operativos (MP) y ventas.

Parámetros generales	U/M	Cantidad
Longitud del producto	m	3,05
Tiempo de producción anual	días/año	260,00
Precio unitario del producto	usd/pza	\$5,20

Partiendo de la data histórica de cada herramienta se construye la Tabla 4, donde se establece la edad de cada matriz como parámetro destacado, ya que podría convertirse en un dato importante para la toma de decisiones. La columna de *Nueva Herramienta*, son estimaciones construidas partiendo de las especificaciones fabricante, estimando un máximo de 10% de productos defectuosos y un eficiencia de 80% de la velocidad nominal.

Empleando el método del Valor Presente Neto (VPN) se determina la factibilidad de sustituir algunas de las herramientas y se hacen las siguientes afirmaciones.

VPN para un período de 16 años, *Nueva Herramienta* y 2000327 (L204).

- Ambas herramientas presentan un $VPN > 0$.
- La herramienta 2000327 (L204) puede seguir operando y brindando utilidad durante el curso de su vida útil.

VPN para un período de 12 años, *Nueva Herramienta*, 601807 (L205) y 602023 (L208).

- La Nueva Herramienta presenta un $VPN > 0$, pero por otro lado, las matrices 601807 (L205) y 602023 (L208) un $VPN < 0$.
- Elaborando un estudio de los parámetros operacionales para estandarización de procesos, la herramienta 602023 (L208)

puede seguir siendo empleada generando utilidad, al menos durante la mitad del tiempo de vida útil que le queda (6 años).

- En vista de que la herramienta 601807 (L205) obtuvo un VPN muy por debajo de cero (0), es recomendable sustituir la herramienta en el corto plazo.

Tabla 4. Parámetros de cada herramienta y estimaciones económicas anuales.

Parámetro	U/M	Herramienta			
		Nueva	2000327 (L204)	601807 (L205)	602023 (L208)
Edad	Años	0	4	8	8
Velocidad nominal	m/min	4,40	3,73	3,47	4,32
Peso del producto	Kg/pza	2,62	3,36	3,60	3,29
Rechazos promedio	%	10,00	9,00	24,00	13,25
Productos conforme	pza/año	486.106,20	416.664,43	323.727,32	425.956,38
Ingreso por ventas	usd/año	2,528x10 ⁶	2,167x10 ⁶	1,684x10 ⁶	2,215x10 ⁶
Costo anual operaciones MP	usd/año	1,945x10 ⁶	2,109x10 ⁶	2,104x10 ⁶	2,220x10 ⁶
Diferencia ingresos/egresos	usd/año	583.392,88	58.317,24	-420.693,08	-4.878,09

CONCLUSIONES

Cada herramienta o matriz debe tratarse como un elemento individual e independiente de los demás, es decir, que los estudios que se elaboren deben hacerse para cada uno y sus resultados deben ser revisados para comparar su desempeño. Bajo este principio se desarrollará este apartado.

Partiendo de la evaluación de los resultados obtenidos, se pueden hacer algunas recomendaciones:

La herramienta 2000327 (L204) puede seguir siendo empleada durante el resto de su vida útil (16 años), siempre y cuando sea empleada correctamente durante su operación y además que los trabajos de mantenimiento a los que sea sometida se hagan de apropiada y cuidadosamente.

Es recomendable sustituir la matriz 601807 (L205) por una nueva, esto

permitiría aumentar la productividad en un 14% y reducir el peso de cada pieza en un 8,20% y los costos operativos por materia prima (MP) en 8% aproximadamente.

Para todos los casos es recomendable hacer un estricto control de las variables de proceso y además registrar su comportamiento con una frecuencia de dos veces por turno de trabajo a intervalos de cuatro (4) horas, haciendo los ajustes necesarios para lograr que los parámetros de operación logren ubicarse dentro de los límites de control. Para el caso de la 602023 (L208) es indispensable llevar esto a cabo si se desea que la línea sea rentable.

Durante la revisión de la data histórica se observó que no todas las variables de control son registradas con la frecuencia apropiada y tampoco de la manera

adecuada; por ejemplo, la velocidad de avance del perfil es registrada en la mayoría de los casos dos (2) veces por turno, pero se desconoce la hora específica en la que se registra y tampoco puede relacionarse con ninguna de las muestras que se toman.

Partiendo de la información recabada, se recomienda hacer estudios estadísticos de correlación de variables, con el objeto de estandarizar las operaciones, mejorar el proceso y hacerlo más productivo. Este documento es solo parte de un todo y se deben hacer estudios complementarios para lograr tomar mejores decisiones.

Siguiendo el mismo orden de ideas, es recomendable hacer algunas mediciones

dimensionales en posiciones específicas de las herramientas, antes y después de las labores de mantenimiento, como por ejemplo tamaño de la boquilla a la salida de la matriz.

Se debe también maximizar los tiempos de operación de las líneas y a su vez disminuir la frecuencia de paradas programadas de proceso, con el objeto de reducir el deterioro de las matrices a causa del mantenimiento.

Se debe hacer un análisis equivalente para todas las herramientas pertenecientes a PETROCASA, S.A., hacer las comparaciones de desempeño y tomar medidas correctivas en los casos en que sea necesario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bartés, A.P.; Llabrés, X.T.; Cintas, G.; P.; Fernández, L.P. (1997). *Métodos Estadísticos, Control y Mejora de la Calidad* / Ediciones UPC y Ana Latorre.
- [2] Blank, L.; Tarquin, A. (1999). *Ingeniería Económica*. Cuarta edición. Bogotá: McGraw Hill.
- [3] Levin, R. (1998). *Estadística para Administradores*. Segunda Edición. México: Prentice-Hall-Hispanoamérica.
- [3] Kazmier, L. y Díaz, A. (1993). *Estadística Aplicada a la Administración y a la Economía*. Segunda Edición. México: McGraw-Hill.
- [4] Norma ISO 9001:2015 *Sistemas de gestión de la calidad*. Requisitos. Ginebra: ISO.
- [5] Vilar, J. (1999). *Cómo mejorar los procesos en su empresa*. Madrid: Fundación Confemetal.
- [6] Neter, J. (1970). *Fundamentos de Estadística Aplicada a los Negocios*. México: Compañía Continental.
- [7] Sapag, N. y Sapag, R. (2008). *Preparación y evaluación de proyectos*. Quinta Edición. Bogotá: McGraw-Hill.
- [8] García, E. (2008). *Propuestas de mejora para el plan de control de gestión del proceso productivo de ácido fosfórico en la empresa*

Tripoliven C.A., basado en el control estadístico de procesos. Universidad de Carabobo, Venezuela.

[9] Moreno, P.; Rodríguez, M.; Cumaná (2008). *Análisis de los procedimientos estadísticos aplicados al Control de la Calidad*. Universidad de Oriente, Venezuela.

[10] Lara, C.; Melo, R.; Herrera, D.A.; Valdez, J. A.; (2011). *Control estadístico de procesos en tiempo real de un sistema de endulzamiento de gas amargo*. *Revista Metodología y resultados Tecnología, Ciencia, Educación*, vol. 26, núm. 2, pp. 57-74.

[11] Gutiérrez, L. (2009). *Trabajo en equipo y control estadístico de procesos en Seis Sigma como fuentes de visión compartida un análisis empírico de su efectividad en empresas europeas*. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. 18, núm. 2, pp. 143-160.

[12] Vélez, E. (2009). *Control estadístico de los indicadores de calidad de calzado plástico*. *Revista Tecnológica ESPOL*. Centro de Investigación Científica y Tecnológica, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral.