UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

TIEMPO DE METALIZADO Y SU RELACIÓN CON EL ÁREA, GRADO DE SUCIEDAD Y DESGASTE EN PIEZAS RECUPERADAS

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

JOSELITO MENDOZA MORANTE

JOSE ORLANDO SAUCEDO VERGARA

Asesor
Ing. MBA. Gianni Michael Zelada García

Lima – Perú
2019

JURADO DE LA SUSTENTACIÓN ORAL

……..……

Presidente

……..……

Jurado 1

……..……

Jurado 2

Entregado el:

Aprobado por:

……..……..…… Bachiller

……..……..…… Bachiller

……..……..…… Asesor de Tesis

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Mendoza Morante Joselito, identificado con DNI Nº 72302725 y Saucedo Vergara José Orlando, identificado con DNI Nº 25852968, ambos bachilleres del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería industrial y comercial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presentamos nuestra tesis titulada:

"**TIEMPO DE METALIZADO Y SU RELACIÒN CON EL ÀREA, GRADO DE SUCIEDAD Y DESGASTE EN PIEZAS RECUPERADAS**"

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones, rectifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, agosto del 2019

……..……..

Mendoza Morante Joselito, DNI N° 72302725

……..……..

Saucedo Vergara José Orlando, DNI N° 25852968

EPÍGRAFE

"“Ninguna investigación humana puede ser denominada ciencia si no pasa a través de pruebas matemáticas”"

(Leonardo Da V
inci)

Índice General

JURADO DE LA SUSTENTACIÓN ORAL 1
EPÍGRAFE 3
DEDICATORIA 8
RESUMEN 10
ABSTRACT 11
INTRODUCCIÓN 12
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 16
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 20
Problema General 20
Problemas específicos 20
ANTECEDENTES 21
Antecedentes Nacionales 21
Antecedentes Internacionales 23
MARCO TEÓRICO 26
Procesos de Manufactura 26
Metalizado 27
Proceso de Termorociado Por Plasma 29
Proceso de Termorociado con Energía Cinética 29
Proceso de Termorciado por Arco Eléctrico 30
Proceso de Termorciado por Flama 31
Materiales para Proceso de Metalizado 32
Propiedades del Recubrimiento 33
Protección contra el desgaste 33
Protección contra la corrosión 33
Revestimientos aislantes (térmica / eléctrica) 33
Prueba de Kolmogorov Smirnov 34
Prueba de Shapiro Wills 34
Coeficiente de correlación de Pearson 36
Prueba de Rho Spearman 40
Prueba de Kendall (W) 41
OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN 45
Objetivo General 45
Objetivo Específicos 45
HIPÓTESIS 46
Hipótesis General 46
Hipótesis Específicas 46
Hipótesis Específico 4 46
JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 48
Justificación Teórica 48
Justificación Práctica 48
Justificación Económica 48

MARCO METODOLÒGICO 49
Metodología 49
Paradigma 49
Enfoque 49
Método 50
VARIABLE 50
Variables independientes 50
Variable dependiente 51
POBLACIÓN Y MUESTRA 51
Población 51
Muestra 51
UNIDAD DE ANÁLISIS 53
INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS 54
PROCEDIMIENTOS Y MÉTODO DE ANÁLISIS 55
RESULTADOS 62
Pruebas de Normalidad de Shapiro Wills 62
Pruebas de Análisis Correlacional Multivariado por Rho Spearman 62
DISCUSIÓN 75
CONCLUSIONES 76
Conclusiones respecto a la hipótesis específica 1 76
Conclusiones respecto a la hipótesis específica 2 76
Conclusiones respecto a la hipótesis específica 3 76
Conclusiones respecto a la hipótesis específica 4 76
Conclusiones respecto a la hipótesis general 77
RECOMENDACIONES 78
REFERENCIAS 79

Índice de Tablas

Tabla 01: Muestra de estudio 52
Tabla 02: Instrumento y técnica aplicado por variable 53
Tabla 03, patrón para valoración del grado de suciedad 55
Tabla 04: Resultados de prueba de Normalidad Shapiro Wilk 62
Tabla 05: Resultados de pruebas de correlación de Pearson 63
Tabla 06: Resultados de coeficiente de correlación de Pearson 69
Tabla 07: Resultados de significancia 69
Tabla 08: Resultados de coeficientes de regresión lineal múltiple 70
Tabla 09: Cálculo de los sesgos por error (diseño) 69
Tabla 10: Càlculo de los sesgos por error (validación) 69

Índice de Figuras

Figura 01: Organigrama de CCI Servicios 14
Figura 02: Layout de CCI Servicios. 15
Figura 03: Sesgo de error por estimación empírica 16
Figura 04: Diagrama de operaciones del proceso 17
Figura 05: Diagrama de actividades del proceso 18
Figura 06: Operación del proceso crítico"Cuello de botella" 19
Figura 07: Procesos de manufactura 26
Figura 08: Materiales de trabajo 27
Figura 09: Proceso general de metalizado 28
Figura 10: Proceso de termorociado por plasma 29
Figura 11: Proceso de termorociado con Energía Cinética 30
Figura 12: Proceso de termorociado por arco eléctrico 30
Figura 13: Proceso de termorociado por flama 31
Figura 14: Materiales usados para el proceso de metalizado 32
Figura 15: Correlación de Pearson positiva 37
Figura 16: Correlación de Pearson negativa 37
Figura 17: Aplicación de Kendall 42
Figura 18: Tabla de significancia de Kendall 43
Figura 19: Pieza apta para metalizado, considerada Grado 1 56
Figura 20: Pieza con oxidación, considerada Grado 2 57
Figura 21: Pieza con trazas de pintura, considerada Grado 3 57
Figura 22: Esquema de una pieza a recuperar (eje izquierda y alojamiento a la derecha), señalando el diámetro de la pieza y la zona de desgaste. 59
Figura 23: Pistola de metalizado PPG, marca Oerlokon. 60
Figura 24: Consola de metalizado modelo PPC, marca Oerlikon. 61
Figura 25: Diagrama de Dispersión área de mecanizado y tiempo total de metalizado 65
Figura 26: Diagrama de Dispersión Grado de suciedad y tiempo total de metalizado 66
Figura 27: Diagrama de Dispersión Temperatura promedio y tiempo total de metalizado 67
Figura 28: Diagrama de Dispersión Total de pasadas y tiempo total de metalizado 68
Figura 29: Comparativo del sesgo por estimador empírico y estimador modelado (1) 68
Figura 30: Comparativo del sesgo por estimador empírico y estimador modelado (2) 74

DEDICATORIA

"Dedico este proyecto a mi Dios, mi papá Pedro, mis padres, mi hermano y a todos mis familiares, que estuvieron presentes en este trayecto y me apoyaron a lograr mis metas. Y a mí asesor que nos brindó conocimientos para llevar a cabo nuestra tesis."

(Mendoza Morante, Joselito)

DEDICATORIA

"Dedico este proyecto a Dios, mi madre, hijos, por mostrarme el camino a la superación y ser los pilares para poder cumplir los objetivos y metas propuestas"

Y a mí asesor que nos brindó su soporte y conocimiento para poder culminar nuestra tesis."

(Saucedo Vergara, José Orlando)

RESUMEN

En una economía ligada al crecimiento minero, las empresas peruanas, gestionan sus activos, en especial, sus camiones mineros, con estrategias de recuperación de piezas, con la finalidad de ampliar la vida útil de estos equipos. Ante esa necesidad aparece la empresa inversiones CCI, que ofrece el servicio de recuperación de piezas a través del proceso de metalizado. El tiempo de este proceso, es programado y estableció de manera empírica, lo que influye en la confiabilidad de las entregas y en el aprovechamiento de las máquinas. El estudio busca, la identificación de las variables que determina el tiempo de metalizado, asimismo pretende explicar la relación entre estos factores y el tiempo de metalizado, para ello se hace uso de los métodos de regresión lineal multivariable, y bajo un enfoque cuantitativo y no experimental, se procede a analizar la muestra recopilada. Finalmente, los resultados validan la relación entre los factores y el tiempo, con un coeficiente de relación de 0.827. Los autores, también abren paso en la sección de recomendaciones, a la oportunidad de hacer otras investigaciones como son la estandarización, homologación de procesos de metalizado y asignación de carga laboral.

Keywords: Time, Metallized, Linear Regression, Machining Factors.

ABSTRACT

In an economy linked to mining growth, Peruvian companies, manage their assets, especially their mining trucks, with parts recovery strategies, with the strategy of extending the useful life of these equipment. Given this need, the CCI investment company appears which offers the service of recovering parts through the metallizing process. The time of this process is programmed and established empirically, which influences the reliability of the deliveries and the use of the machines. The study seeks, through a documentary review, the identification of the factors that determines the time of metallization, also aims to explain the relationship between these factors and the time of metallization, for this purpose the use of multivariable linear regression methods is used, and under a quantitative and non-experimental approach, the collected sample is analyzed. Finally, the results validate the relationship between factors and time, with a ratio coefficient of 0.827.The authors also open the way in the recommendations section, to the opportunity to do other research such as standardization, standardization of metallization processes and workload allocation.

Key Words: Time, Metallized, Standardizations, Efficiency and Productivity.

INTRODUCCIÓN

Aun con los conflictos sociales vividos en Cajamarca (2011) y Arequipa (2014), el Perú es un país cuya economía se mueve a través de la explotación minera, la cual implica el 10% del PBI, asimismo representa casi un cuarto de la inversión directa, y proyecta una inversión 58 MM UU$ para los próximos años (gestión.pe,2018). Toda esta actividad se soporta sobre equipos de alta inversión como son los camiones mineros, que representan además un alto costo de operación y mantenimiento. García et ál (2013) indica:

> García et ál (2013)
>
> Mayormente, la maquinaria minera trabaja 24x7, por lo que si alguno de ellos tiene un desperfecto, esto implicará elevar las ineficiencias en el trabajo y por lo tanto aumentar los costos operativos. Es por ello, que resulta muy importante que la empresa tenga equipamiento con alta tecnología y en excelentes condiciones. (p. 47)

Estos equipos, por su alto costo de renovación, buscan prolongar su vida útil a través de estrategias de mantenimiento preventivo, predictivo y sobre todo en la recuperación de piezas mecánicas desgastadas, estas generalmente son asientos o alojamientos de elementos rodantes, expuestos a fricción o corrosión, como caso particular para las piezas de las turbinas hidráulicas.

En la empresa seleccionada para la investigación, Inversiones CCI, se realizan los servicios de recuperación de componentes mecánicos desgastados, sean estos alojamientos o asientos de rodamientos y/o bocinas, a través del proceso de metalizado, que consiste en adherir, por fusión, sobre la superficie desgastada, un material de aporte que posteriormente será maquinado para llevar al componente inicialmente desgastado a sus medidas y propiedades físicas originales, ofreciendo que el ciclo de vida del equipo se incremente, y se traduzca en ahorros económicos para el cliente usuario. Este beneficio de recuperación de piezas, comparado con los métodos tradicionales, resulta ser económicamente productivo para el cliente usuario, quienes han sabido responder a

través de la demanda su preferencia, llevándola a aumentar en 50% en los últimos dos años. Precisamente este incremento, ha puesto en jaque la capacidad de la empresa Inversiones CCI, específicamente al área de metalizado de piezas, lo cual representa una oportunidad para mejorar la optimización de dicha área. En tal sentido, el objetivo de esta investigación es hallar las variables y su grado de relevancia respecto al tiempo del proceso de metalizado, con la finalidad, que se pueda optimizar la secuencia del proceso de recuperación de piezas.

El proceso de metalizado de piezas tiene dos etapas, la primera una etapa de recepción, diagnóstico, cotización y aprobación por parte del cliente, e inicia desde que el componente mecánico ingresa a nuestras instalaciones y se registra mediante orden de trabajo (OT) la cual se asigna por orden de llegada, posteriormente se realiza una registro dimensional del área afectada, una revisión visual del tipo de grado de suciedad, para reconocer la temperatura promedio y programar el número o cantidad de pasadas al material a reprocesar. Una vez que se ejecutaron las pruebas necesarias se procede a digitar el informe de evaluación. Con base a dicho informe el área comercial comunica si se efectúa el trabajo ingresando los datos dentro del sistema para proceder a generar su plan de trabajo.

La segunda etapa, le corresponde al área de producción, y empieza con el pre – maquinado donde se retira el material base en la zona a metalizar, posteriormente prosigue el proceso de metalizado en sí, que inicia protegiendo las zonas adyacentes al área donde se va granallar para evitar que se dañen, luego viene un pre calentamiento al componente para eliminar la humedad, grasas o residuos existentes, posteriormente, se procede a granallar, verificando que la superficie tenga buena rugosidad y pierda brillo, luego procede a cubrir con cartón para aplicarle un aditivo adicional (Anti-bond), una vez culminado con la aplicación de dicho aditivo se procede a retirar el cartón y verificar que la zona se encuentre limpia para aplicar el material base y luego el material de aporte. Por último, pasará al área de acabado donde se producirá el maquinado final

en las zonas donde se ha aplicado el material de aporte con base a las medidas finales que indica el plan de calidad, posteriormente el área de control de calidad procede con la verificación de medidas y para finalizar se ejecuta la limpieza final para la entrega al cliente.

La empresa CCI SERVICIOS (Maestranza, metalizado, soldadura) tiene 45 años en el mercado cuya ubicación se encuentra en la Calle Omicron 497, Callao.

Dicha empresa cuenta con 50 trabajadores, del mismo modo se encuentra estructurada de manera formal y oficial (organigrama), así también se tiene todas las áreas distribuidas (layout).

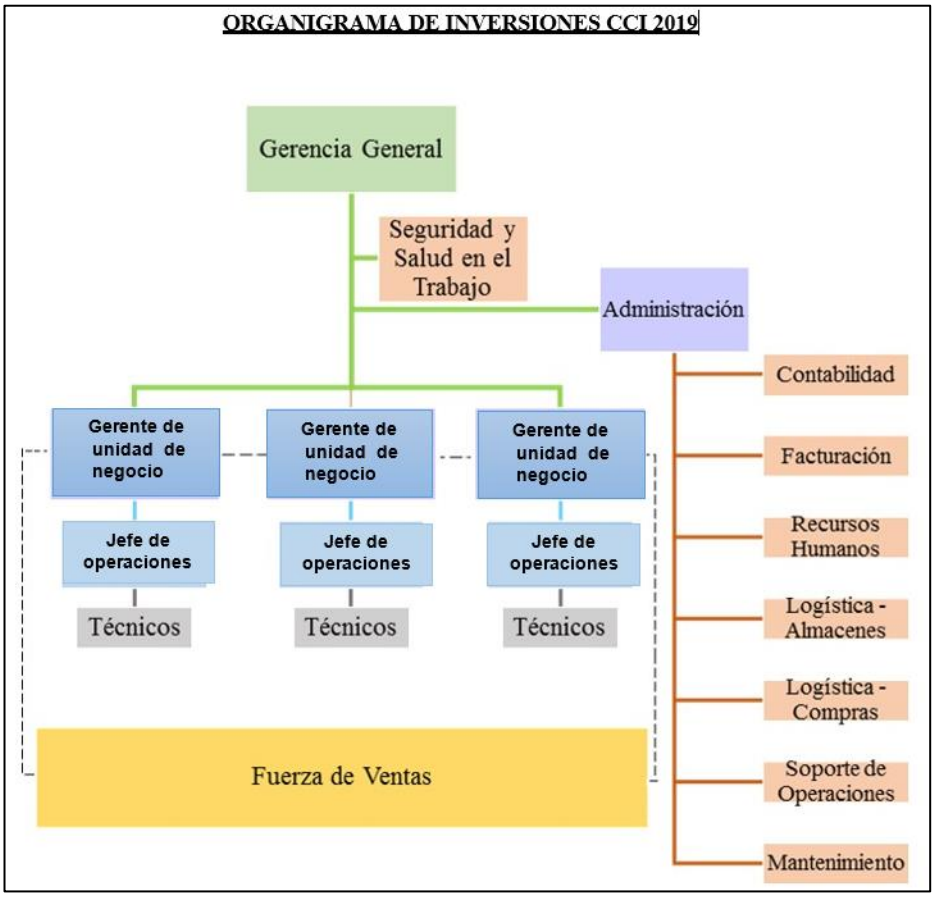


Figura 01: Organigrama de la empresa.
Fuente: Datos obtenidos dela empresa CCI Servicios Inversiones.

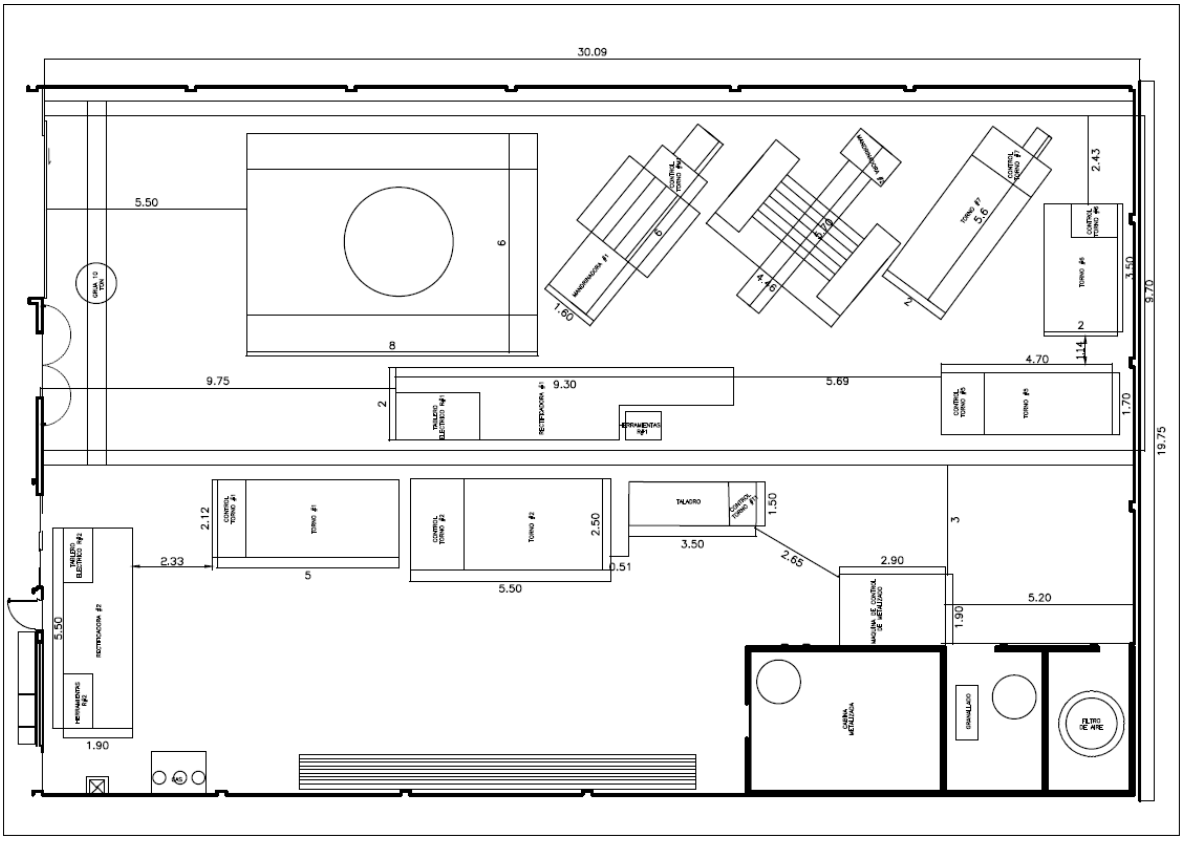


Figura 02: Layout de la empresa.

Fuente: Datos obtenidos de la empresa CCI Servicios Inversiones.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Ante la demanda, y creciente competencia, planear las actividades de recuperación de piezas, asegurando entregas oportunas hacia los clientes y sacar el mayor aprovechamiento de las instalaciones es vital para la empresa, por ello se ha identificado como problema que los tiempos de metalizado se estiman empíricamente, costumbre que se justifica en que los componentes recuperados, todos, son distintos el uno del otro, tanto en diámetro del componente, área afectada, profundidad desgastada, dureza superficial requerida, grado de suciedad de la pieza, diámetro y velocidad del material de aporte, entre otros.

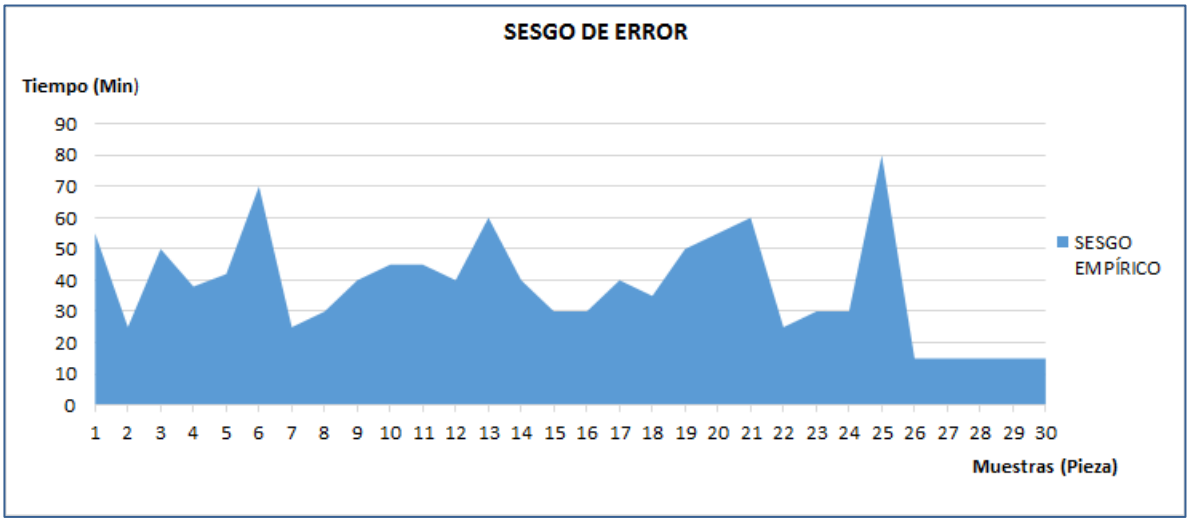


Figura 03: Sesgo de error por estimación empírica.
Fuente: Elaboración propia.

La bibliografía referida a la forma de estimar los tiempos de metalizado, no ha podido ser ubicada por los autores, por ello, se ha tomado como base de estimación el proceso de soldadura TIG, que coincide en que es un proceso de aporte por fusión, de ahí que se presume que entre el: diámetro del componente, área afectada, profundidad desgastada, dureza superficial requerida, grado de suciedad de la pieza, diámetro y velocidad del material de aporte, existe una relación directa con el tiempo de metalizado.

Por la naturaleza multivariable de este proceso, se harán algunas precisiones en referencia al metalizado, en razón de que todo el proceso de aporte; es decir: amperaje del equipo de metalizado, el diámetro, velocidad y tipo de material de aporte, se

mantendrán fijos. No obstante, las demás variables, las cuales serán motivo de análisis.

Para ello, el trabajo tiene como meta encontrar la relación entre el tiempo de proceso de metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas de la productividad en el área de producción; es decir área desgastada, que relaciona el diámetro y ancho a recuperar, el número de pasadas, que relaciona la profundidad de desgaste, el grado de suciedad y la temperatura de calentamiento de la pieza recuperada que se presumen factores influyentes.

La Empresa cuenta con 8 procesos importantes para la realización del proceso de metalizado.

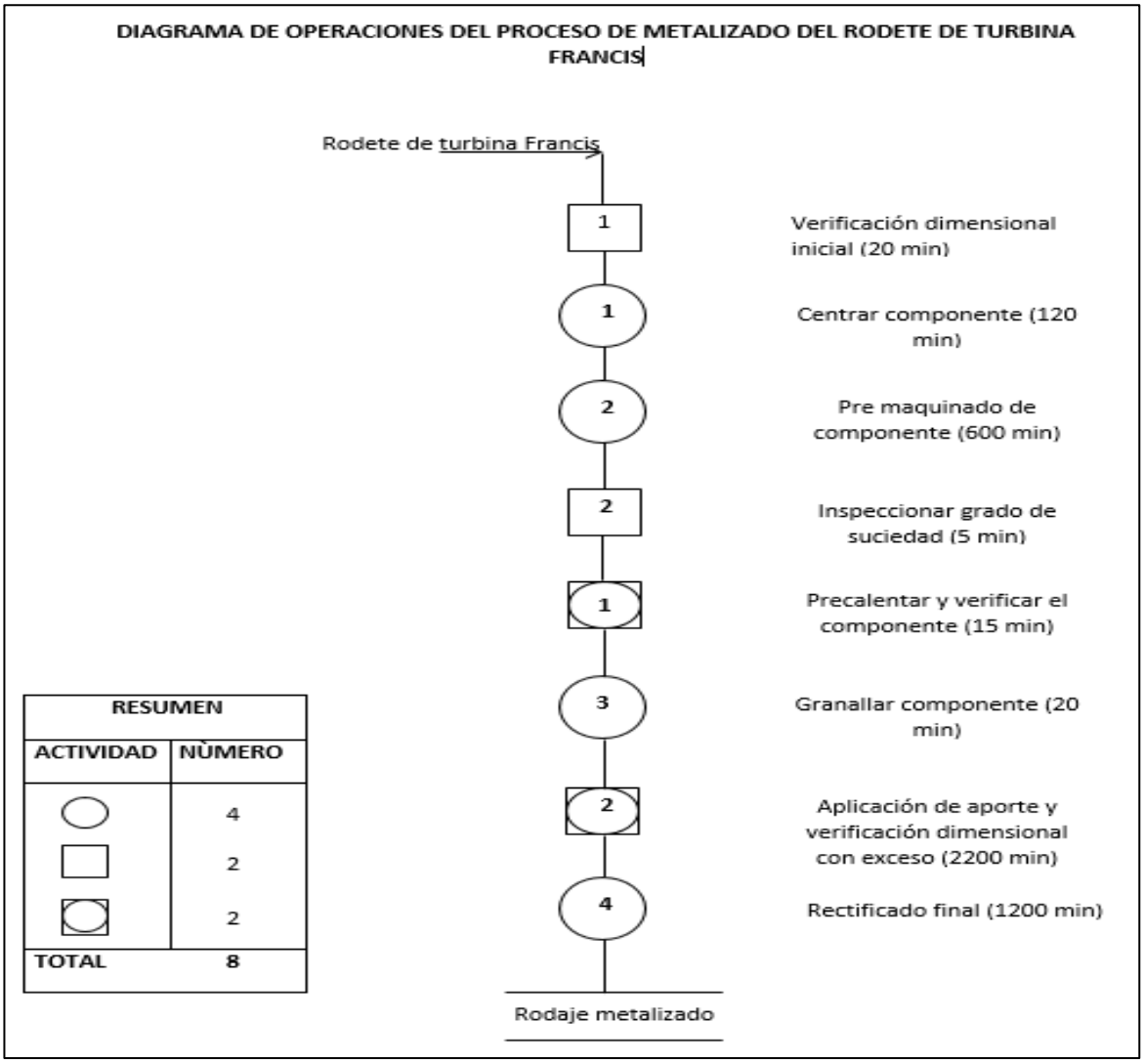


Figura 04: Diagrama de operaciones del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se puede visualizar el análisis del proceso donde detalla todas las actividades correspondientes al método actual del proceso de metalizado.

CURSOGRAMA ANÁLITICO	OPERARIO / MATERIAL / EQUIPO					
Diagrama Número: 1 Hoja Número: 1 de: 1	RESUMEN					
Objeto: Rodete de turbina Francis	Actividad			Actual	Propuesto	Economía
	Operación			18		
	Transporte			7		
Actividad: Recuperación de un componente mecánico	Espera			0		
	Inspección			3		
	Almacenamiento			1		
Método: actual	Distancia	metros	36 mts.			
Lugar: Inversiones CCI S.A	Tiempo	minutos	4842 min.			
Operario(s): 1 Ficha Num.	Costo					
Compuesto por : J. Mendoza Fecha: 01.01.2019	Mano de Obra					
Aprobrado por : J. Mendoza Fecha: 01.01.2019	Material					
	Total					

TEM	DESCRIPCIÓN	CANT	DIST (metros)	TIEMPO (min)	SIMBOLOS					OBSERVACIONES
1	Retiro de micrómetros e instrumentos del Almacén			10						
2	Traslado de micrómetros a la máquina		12	5						
3	Traslado del componente a zona de maestranza		10	15						
4	Montaje del componente en máquina			20						
5	Verificación dimensional inicial			20						
6	Centrar componente en máquina			120						
7	Pre-maquinado de componente			600						
8	Desmontaje de componente			20						
9	Traslado del componente al area de arenado		5	8						
10	Inspección del grado de suciedad			5						con tabla
11	Precalentamiento del componente			15						con antorcha
12	Verificación de calor con pirometro			2						
13	Protección en las zonas a granallar			10						con lata y asbesto
14	Granallado del componente			20						
16	Embalaje en las zonas granalladas			3						con carton corrugado
15	Traslado del componente a metalizado		4	6						
16	Colocar componente en la zona de metalizado			10						
18	Centrar componente en la zona de metalizado			8						
19	Aplicación de material de aporte			2200						
20	Verificación de medidas			15						
21	Traslado de zona maestranza		5	10						
22	Montaje en máquina			20						
23	Centrado del componente			120						
24	Rectificado del Componente			1200						
25	Desmontaje del componente			20						
26	Traslado a control de calidad			10						
27	Limpieza del componente			25						
28	Embalaje			10						film y cartón
29	Despacho			15						
	TOTAL		36	4542	18	7	0	3	1	

Figura 05: Diagrama de actividades del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se puede corroborar que dentro de todas las actividades tenemos una actividad que es la que nos marca el paso y que es una restricción, siendo esta un "Cuello de Botella", cuya operación es la aplicación de aporte y verificación dimensional con exceso (Barra de color rojo).

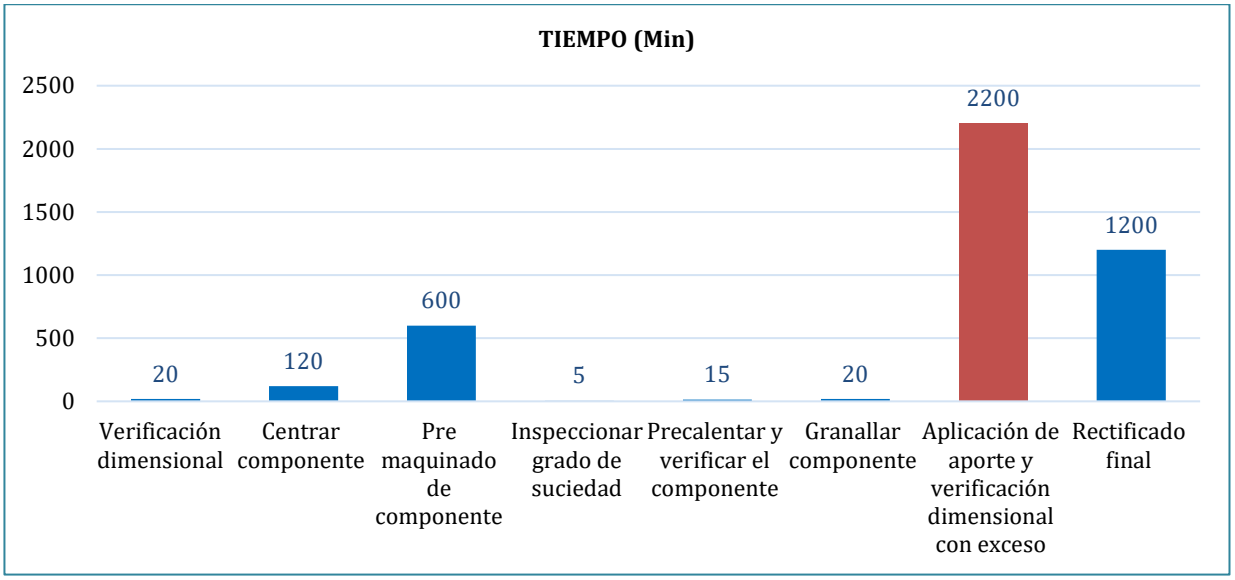


Figura 06: Operación del proceso crítico" Cuello de Botella".
Fuente: Elaboración propia.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema General

¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico?

Problemas específicos

¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico?

¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánico?

¿Cuál es la relación entre el tiempo de proceso de metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico?

¿Cuál es la relación entre el tiempo de proceso de metalizado y el total de pasadas, en una empresa del sector metalmecánico?

ANTECEDENTES

En la exploración de información, se encontraron tesis similares a los problemas que se vienen desarrollando en la organización Inversiones CCI S.A. Por lo tanto, se determina que la optimización del tiempo de procesos tiene como consecuencia la mayor eficiencia y productividad en el área de producción.

Antecedentes Nacionales

Giraldo (2017) en su tesis titulada estudio de tiempos para mejorar la productividad en la Corporación Pesquera ICEF S.A.C, Chimbote 2017.Para obtener la titulación profesional en ingeniería industrial. Se propuso en mejorar el tiempo de producción, proceso productivo de la empresa Corporación Pesquera ICEF S.A.C. La investigación fue de tipo aplicada, la población muestral estuvo conformada por todas las acciones que se realizan en el proceso de envasado durante los 3 últimos años. Obteniendo como resultado mejorar el proceso de envasado, a su vez esté causando un incremento 36.02% en la productividad, el cual se pudo demostrar con el análisis inferencial de la producción mediante los indicadores del antes y después (T- Student), esto permitió reflejar la productividad en los indicadores después del estudio de tiempos y mejora en los tiempos de productividad.

Jiménez (2017) en su tesis titulada reducción de tiempo de entrega en el proceso productivo de una metalmecánica Industrias PATCOR S.A. Para lograr el título de ingeniero Industrial y comercial. Se propuso mejorar el cumplimiento de entrega de productos a sus clientes, llegando a identificar las principales causas en el proceso y a su vez mejorar dichas actividades. El método de investigación fue de tipo documental-campo, práctico y explicativo, se tomó una población mensual de unidades producidas de marmitas (1 muestra) por la cantidad pequeña de producción, este muestreo fue intencional probabilístico, para esta investigación se utilizaron los siguientes instrumentos diagrama de Pareto, diagrama de Bloque, diagrama de Ishikawa, Ciclo Deming, 5W,

resultado de la investigación se obtuvo la identificación de las causas de que afectan el proceso de entrega(actividades o rutas críticas) llegando a mejorar significativamente el tiempo de entrega.

Tovar (2016) en su tesis titulada Estudio de métodos y tiempos para mejorar la productividad en la línea de sofás de una empresa de muebles, Independencia, 2016. Para lograr el grado profesional de Ingeniero Industrial. Se propuso a través del estudio de métodos mejorará los tiempos de la productividad en la línea de sofás. El tipo de investigación que se utilizó fue de cuasi experimental, dicha población estuvo conformada por todos los procesos en la sección de producción (2015) de la línea de sofás, la extracción de las 15 muestras tomada del proceso fue procesadas en SPSS21, llegando a la conclusión que los resultados del método y tiempo demuestran una mejora en la productividad, ya que antes del estudio llegaban a 67% y ahora a 95%.

Ponce (2017) en su tesis titulada Mejora de la productividad en la fabricación de aditivos para una unidad concretara en Lima, 2017. Para lograr el grado Ingeniero Industrial Comercial. Propuso la implementación de un sistema de enfriamiento forzado que ayudara a disminuir los tiempos y lograr incrementar la producción, la evaluación se realizó en todo el proceso de fabricación de aditivos durante una toma de muestra (día) dicha información fue validada en un laboratorio para comprobar que se cumplan las especificaciones técnicas calidad (PH y densidad) obteniendo un mejor resultado de la situación en ese momento de 270 min a 240 min, es decir mejorando 30 minutos, llegando a mejorar el proceso productivo de enfriamiento 16% y la producción en 11.1%.

Delgado (2015) en la tesis titulada Propuesta de disminución de tiempos muertos en la sección mezclado para reducir el costo de la sección en una empresa textil, Arequipa 2105. Para recibir el título de ingeniero Industrial. Planteo mejorar los procesos

de teñidos obteniendo un proceso más ágil y continuo, dando como resultado una reducción de costo, tiempo, esto conllevo al incremento de la productividad, dicha evaluación y estudio se llevó en el proceso de mezclado (sección), se generó la creación de una pantalla donde se pueda visualizar o indicar el tiempo sincerado de la atención de la mezcla a planta, se pudo evidenciar la reducción del tiempo en el proceso de mezclado de 35 a 25 min. Ello conllevo al aumento de la producción cumpliendo el podido solicitado diariamente de 6000 kg. La mejora se reflejó en un ahorro de los costos operativos, sección de mezclado.

Antecedentes Internacionales

Curillo (2014) en su tesis titulada *Análisis y proposición de mejorar la productividad de la fabricación artesanal de hornos Industriales FACOPA.* Cuenca. Sustentó la tesis enfocada en el tema mencionado, el estudio demuestra la falta de organización afecta directamente en la productividad por lo que se busca optimizar los métodos de trabajos actuales. El propósito de esta tesis es obtener una mayor productividad en base a un plan de mantenimiento, tiempos de operación mejorados, comunicación, evaluación y capacitación. Se concluyó que la optimización y mejoras de procesos están relacionados con el compromiso y la productividad.

Ortiz & Caicedo (2014) en su tesis titulada Programa óptimo de la productividad *en una pequeña empresa de calzado – Colombia*. La Habana, Cuba: Instituto Superior En su estudio de investigación sobre “Programación óptima de la producción en una pequeña empresa de calzado en Colombia” busco un diseño de programa óptimo de la productividad en una organización en crecimiento que se dedica al rubro de calzado localizado en la zona de San José de Cúcuta (Colombia), a través del uso de la Teoría de la Restricción, particularmente el uso de programación lineal con el fin de desarrollar un adecuado plan de operaciones que pueda disminuir los problemas de operaciones y optimizar los procesos productivos, maximizando el flujo de trabajo como lo es el

throughput (Precio Venta – Costo M.P.). Para ello, se pudo comprobar que con el uso de un adecuado modelo matemático aplicado adecuadamente al proceso productivo y contemplando los procesos de restricciones, es posible generar una ventaja competitiva.

Espín & Jaramillo (2018) en su tesis denominada *Optimización de procesos para la empresa de reciclaje "Plásticos Navarrete" de la ciudad de Latacunga.* Latacunga, Ecuador. Realizaron un trabajo de investigación titulada "Optimización de procesos para la empresa de reciclaje Plásticos Navarrete de la ciudad de Latacunga. Este trabajo desea de forma general mejorar los procesos productivos en la empresa de reciclaje Plástico Navarrete, con la finalidad de reducir tiempos en la producción, implementando un plan de mejoras. La metodología utiliza para la optimización de recursos fue: el método inductivo, método de análisis y método bibliográfico. Se verificó un registro de datos en las diversas áreas de los procesos productivos de la referida empresa empleando diagramas de dispersión, toma de tiempos, observando la demora en la materia prima para la elaboración y fabricación del pellet. El presente estudio pudo observar que la línea base de su proceso tiene deficiencias las cuales se analizó y se presentó una propuesta para su mejora. Este trabajo se realizó para obtener el título en Ingeniería Industrial en la Universidad Técnica Cotopaxi, Ecuador.

Paternina & Rico (2016) en su tesis titulada Optimizar el proceso de productividad *de la empresa citadino tejidos.* Bogotá. Realizaron un trabajo de investigación titulada "Optimización del proceso de producción de la empresa Citadino Tejidos". Este trabajo tiene como meta general la propuesta de implementación de la optimización en las actividades de fabricación de la compañía CITADINO TEJIDO. El tipo de investigación empleado es cuantitativo, a través de análisis realizado con herramientas estadísticas, se observó las mejoras e identificaron los procesos que no brindan aporte al proceso productivo y a la calidad del consumidor final o cliente. El proyecto llegó a contribuir con la mejora continua en la planta productiva y la calidad

laboral del personal, esto es observado en la respuesta de los indicadores de manera positiva, con el rendimiento productivo y obtener una mano de obra calificada de acuerdo a los perfiles. Este trabajo se realizó para obtener el título de Ingeniero de Procesos Industriales de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central Ingeniería en Proceso Industrial Administración de Proyectos, Ecuador.

Peñaranda (2016). en su tesis titulada *Optimización del proceso productivo de la empresa "SERVIOPTICA SAS".* BOGOTÁ D.C. Realizó un trabajo de investigación titulada "Optimización del proceso productivo de la empresa SERVIOPTICA SAS". Este trabajo tiene como objetivo general la implementación de mejoras en el proceso productivo del laboratorio "SERVIOPTICA SAS". La metodología empleada fue la manufactura esbelta, con la finalidad de garantizar la eliminación de tiempos innecesarios. El tipo de investigación aplicada al presente trabajo de investigación fue cuantitativo. Asimismo, se realizaron estudios de tiempos y movimientos que garantizaron el flujo continuo del trabajo de investigación. Los resultados obtenidos fueron los tiempos de cumplimiento al laboratorio, concluyendo que optimizar un proceso depende de otros elementos adicionales a la designación de recursos, es relevante que se maximice cada uno de los recursos llámese máquina o personal operativo.

MARCO TEÓRICO

Procesos de Manufactura

También denominado como proceso industrial, o de manufactura o de fabricación. Implica al conjunto de procesos u operaciones en sí que pueden cambiar las características de la materia prima o insumo. Esta alteración puede ser tanto en sus propiedades físicas como en darle un valor agregado.

Dentro del rubro de la ingeniería industrial es muy importante marcar los límites por donde se conocen los procesos industriales, con el fin de realizar adecuadamente los procesos de transformación de acuerdo a los requerimientos del rubro de la industria y e acuerdo al tipo de producto o requerimiento.

Bajo lo mencionado anteriormente, se pueden entender a los procesos de manufactura como aquellas actividades, pasos y en sí, operaciones que se interrelacionan entre sí, contemplando el binomio básico de hombre-máquina. A continuación, se presentan las diversas categorías en que estos elementos se pueden clasificar:

	1ª categoría	2ª categoría	Proceso
PROCESOS DE MANUFACTURA	CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	MAQUINADO	TORNEADO
			TALADRADO
			FRESADO
			CEPILLADO
			ASERRADO
			MANDRINADO
			BROCHADO
			[DE ENGRANAJES]
			[ESCOPLEADO]
	CONFORMACIÓN FORZADA	CONFORMACIÓN PLÁSTICA MECÁNICA	ENBUTIDO PROF
			LAMINADO
			FORJADO
			EXTRUSIÓN
			TREFILADO
		PULVIMETALURGIA	ALEAC. ESPECIALES
		CONFORMACIÓN TÉRMICA	FUNDICIÓN
			SOLDADURA
		MATERIALES SINTÉTICOS	EXTRUSIÓN
			SOPLADO
	COMPLEMENTARIOS	DUREZA	TRATAMIENTOS TÉRMICOS
		ACABADOS	SUPERFICIES
		ENSAMBLES	ARMADOS

Figura 07: Procesos de manufactura

Fuente: Curso sobre procesos de manufactura

	1ª categoría	2ª categoría	Material
MATERIALES DE TRABAJO	METÁLICOS	FERROSOS	FUNDICIÓN GRIS (DE HIERRO)
			HIERRO MALEABLE
			ACEROS
			FUNDICIÓN BLANCA (DE HIERRO)
		NO FERROSOS	ALUMINIO
			COBRE
			MAGNESIO
			NÍQUEL
			PLOMO
			TITANIO
			ZINC
	NO METÁLICOS	ORGÁNICOS	PLÁSTICOS
			PRODUCTOS DEL PETRÓLEO
			MADERA
			PAPEL
			HULE
			PIEL
		NO ORGÁNICOS	MINERALES
			CEMENTO
			CERÁMICA
			VIDRIO
			GRAFÍTO

Figura 08: Materiales de trabajo
Fuente: Curso sobre procesos de manufactura

Metalizado

Se conoce como tal al proceso metalúrgico que puede agregar varias capas de metal o una sólo capa de metal (de acuerdo al requerimiento), sea de un tipo de metal o bien de metales diversos. Esto se realiza para ofrecer solidez y a su vez genera que el producto tenga mayor conductividad mejorando su rendimiento al ser más resistente a la corrosión.

La metalización es el proceso de fundir, soldar y aplicar electrólisis para obtener un núcleo endurecido. Uno de los procesos importantes es el rociado térmico que implica un

conjunto de pasos de recubrimientos de metales variados, aleaciones, cerámicos entre otros hacia una superficie metálica usando para ello, una pistola de rociado con el apoyo de la técnica de oxiacetileno. Es importante que se considere que el material que se usará como recubrimiento tenga forma de alambre, varilla o tal vez polvo para mejorar el resultado de solidificación y unión.

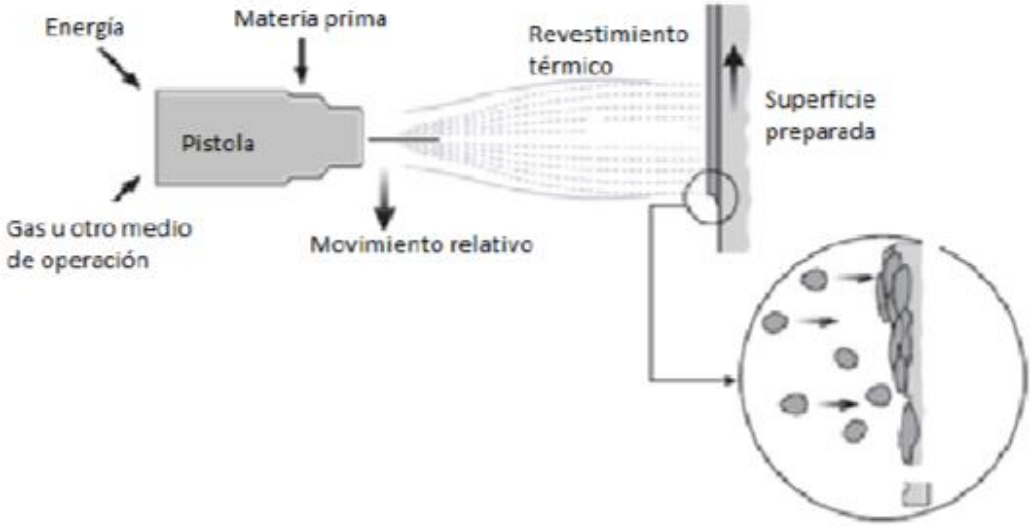


Figura 09: Proceso general de metalizado
Fuente: Salazar Freire, M. (2017).

Ventajas

- Existe varias ventajas que el proceso nos puede dar entre las que podemos destacar las siguientes:
- Se pueden utilizar una gran variedad de materiales ya sean metálicos o no metálicos para producir recubrimientos.
- Capacidad para poder retirar y volver a aplicar el recubrimiento sin que se alteren las dimensiones o que se alteren las propiedades de la pieza.
- Aplicación de recubrimiento sin la necesidad de aporte importante de calor.

Uso en la recuperación de piezas dañadas, rotas o desgastadas, logrando así reducir costos.

Proceso de Termorociado Por Plasma

El proceso de metalización por plasma se basa en un arco de alta frecuencia que se enciende entre un ánodo y un cátodo de tungsteno. El gas que fluye se ioniza de tal manera que se desarrolla el plasma. El material de pulverización se inyecta en forma de polvo sobre la superficie del sustrato.

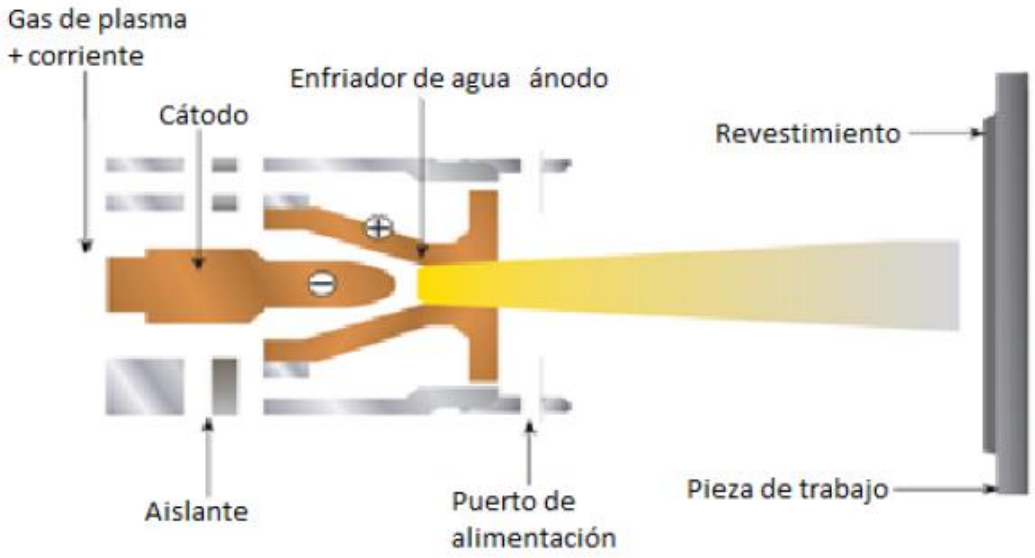


Figura 10: Proceso de termorociado por plasma
Fuente: Salazar Freire, M. (2017).

Proceso de Termorociado con Energía Cinética

Teromorociado con energía cinética o pulverización en frio es un proceso en el que la deposición del material de recubrimiento se lo hace a altas velocidades, entre los 300 y 1200 m/s, utilizando gas dinámico como helio o nitrógeno que se expande a temperaturas relativamente bajas (0 a 800 ºC)

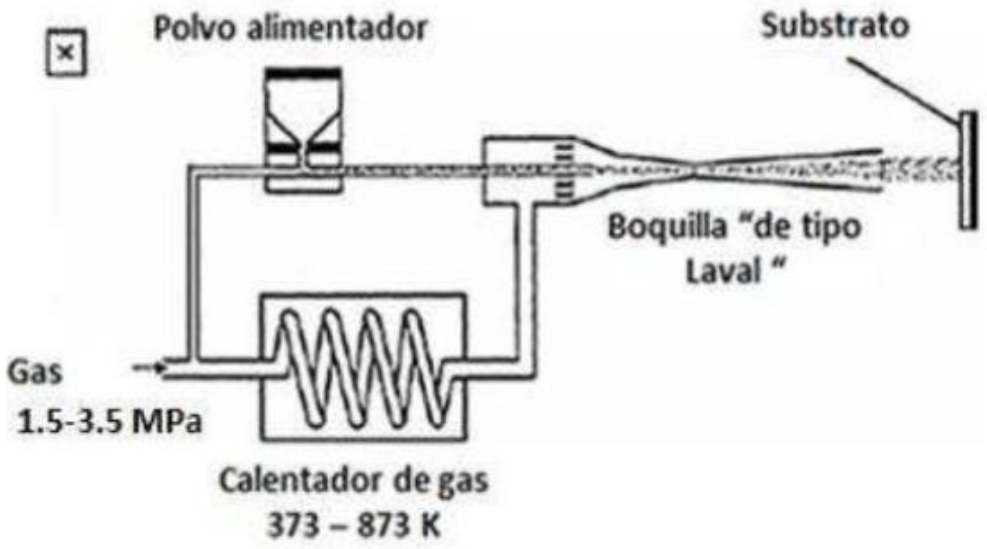


Figura 11: Proceso de termorociado con Energía Cinética
Fuente: Salazar Freire, M. (2017).

Proceso de Termorciado por Arco Eléctrico

Este proceso consiste en hacer contacto entre dos hilos metálicos de carga opuesta hasta formar un arco, esto conduce a la fusión en la punta del material de alambre. El aire atomiza el material de pulverización y lo acelera sobre el sustrato.

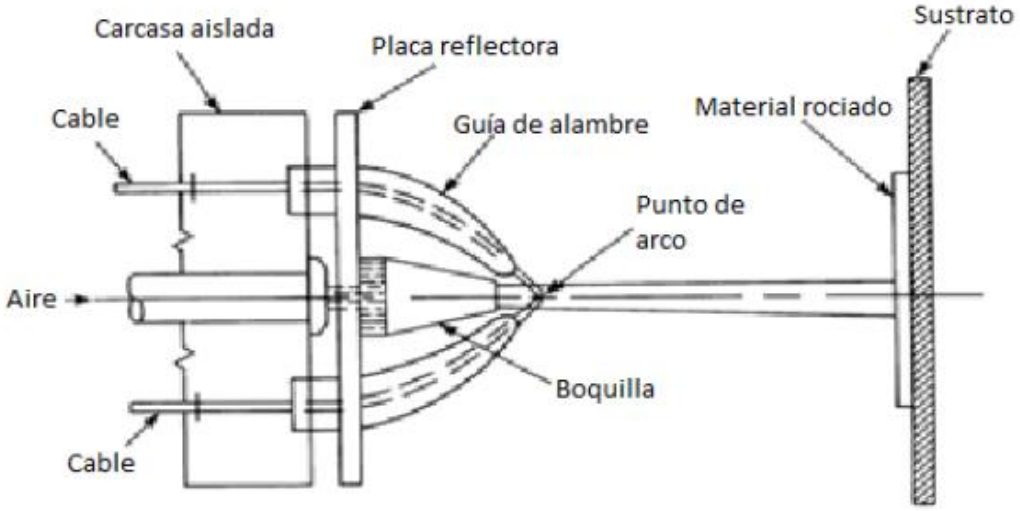


Figura 12: Proceso de termorociado por arco eléctrico
Fuente: Salazar Freire, M. (2017).

Proceso de Termorciado por Flama

Este proceso utiliza la energía química de los gases de combustión para la generación de calor, generalmente el combustible que se utiliza es el acetileno en combinación con oxígeno con la finalidad de producir elevadas temperaturas de combustión. Para pulverizar el material de recubrimiento se lo introduce en una llama de gas oxicorte, ya sea como polvo o alambre en donde se funde, y con aporte o no del gas comprimido este es expulsado velozmente hacia la superficie del substrato.

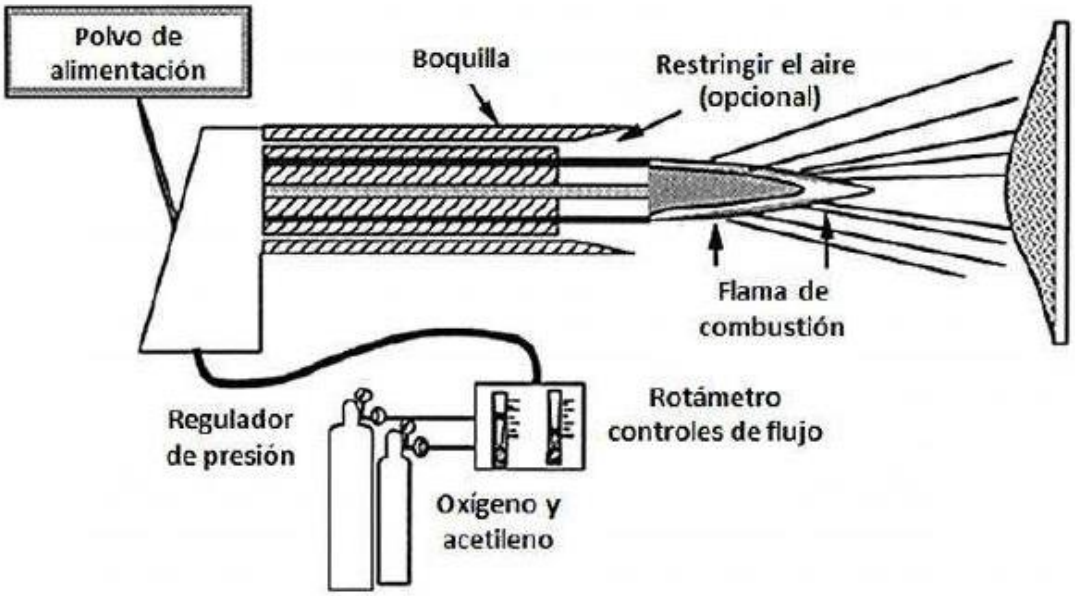


Figura 13: Proceso de termorociado por flama
Fuente: Salazar Freire, M. (2017).

- Termorociado por flama con polvo.
- Termorociado por flama con alambre.
- Termorociado por combustión a alta velocidad(HVOF)
- Termorociado por flama con pistola de detonación

Factores determinantes en los procesos de Metalizado (comparativo al proceso de soldadura TIG)

Materiales para Proceso de Metalizado

Los materiales que se pueden utilizar como recubrimiento para este proceso pueden estar en forma de alambre o polvo. La selección del material depende de la aplicación para la cual va ser sometida, así como las características físicas

Clase de material.	**Aleación típica.**	**Características.**	**Aplicación**
Metales puros.	Zn	Protección a la corrosión.	Construcción de puentes
Aleación Autofundente	FeNiBSi	Alta dureza, porosidad mínima de fusión.	Ejes, rodamientos.
Acero	Fe 13Cr	Resistencia al desgaste, económico.	Reparación.
MCrAlY	NiCrAlY	Resistencia a la corrosión a altas temperaturas.	Álabes de turbinas de gas.
Niquel-grafito	Ni 25C	Anti rozamiento.	Conductos de entrada del compresor.
Óxidos	Al_2O_3	Resistencia a la oxidación, alta dureza.	Industria textil.
Carburos	WC 12Co	Resistencia al desgaste.	Ejes.

Figura 14: Materiales usados para el proceso de metalizado
Fuente: Salazar Freire, M. (2017).

Propiedades del Recubrimiento

Con el correspondiente equipo, parámetros de funcionamiento y elección del polvo, se puede lograr recubrimientos con alta densidad y con una fuerza de adhesión que con frecuencia puede ser superior a los 69 MPa (100.000 psi). El espesor del recubrimiento puede ser generalmente de 0,05 a 0,50 mm.

Protección contra el desgaste

La aplicación más importante de los recubrimientos aplicados por termo rociado es para la protección contra el desgaste. En estas aplicaciones se utilizan materiales de carburo, siendo los más usuales WC/Co o WC/CoCr Aquí, las fases duras de carburo (WC) presentan una excelente resistencia contra el desgaste abrasivo y erosivo, y están incrustados en una matriz dúctil de cobalto.

Protección contra la corrosión

El bajo contenido de carbono, aceros no aleados y materiales de hierro fundido son susceptibles a la oxidación y, por tanto, a menudo necesitan protección superficial constante. Para aplicaciones de alta temperatura se utilizan revestimientos protectores de materiales de MCrAlY. Estos se aplican generalmente con el proceso de termorociado por plasma con atmósfera controlada.

Revestimientos aislantes (térmica / eléctrica)

Los materiales cerámicos son excelentes aislantes térmicos y eléctricos. También poseen buena oxidación y resistencia al desgaste. Estas características son muy útiles en componentes de motores de turbina y como recubrimientos de barrera térmica. El revestimiento de barrera térmica disminuye la temperatura de la piel del sustrato, de este modo extiende la vida útil. Por otro lado, la eficiencia se mejora como resultado de la pérdida de calor reducida a la misma temperatura de funcionamiento. Estos sistemas de

recubrimiento constan de una capa de unión, que normalmente es un material resistente oxidación MCrAlY (M = Fe, Ni o Co) y una capa superior de cerámica.

Prueba de Kolmogorov Smirnov

Si se desea contrastar la hipótesis de normalidad de una determinada población se puede aplicar la siguiente fórmula:

$$D = \text{máx}[fn(x) - fo(x)]$$

Fn(x): Función de distribución muestral.

Fo(x): Función relacionada con la población normal especificada en la hipótesis nula.

Conocida como "prueba K-S", se encarga de comprobar si los datos respecto a la muestra son de una distribución normal. Su use es mayormente en variables cuantitativas continuas, considerando una muestra mayor a 50.

Por ejemplo, si se considera una muestra de más de 600 empleados con el fin de saber si la edad (variable) tiene una distribución normal; se debe contemplar una hipótesis nula (Ho) como aquella que avala que la muestra se origina de una distribución normal. Sin embargo, la hipótesis alternativa (Ha) implicará que los datos no tienen este tipo de normalidad. Para el ejemplo, si el resultado es mayor a 0.05 en su nivel de significancia, implicaría la aceptación de la Ho.

Prueba de Shapiro Wills

Esta Prueba de normalidad, se dio por elaboración de Shapiro and Wilk (1965), siendo considerada como una prueba muy confiable. Para ello, se considera realizar una división entre 2 estimaciones de varianza de una distribución normal que surgen de una muestra aleatoria con N observaciones. Se considera que en esta división o fracción, el numerador guarda una proporción con el cuadrado del mejor estimador lineal de la desviación

estándar. Uno de los factores importantes es el valor de W que implica un nivel de correlación de Pearson entre las observaciones ordenadas y el un grupo de "pesos" que son usados para calcular el numerador. Mientras W esté más cercano a 1, implicará que la muestra es más normal.

Los valores de W son fiables para muestras de 3 a 5000.

La fórmula para W es:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2}$$

Donde

- $x_{(i)}$ es el número que ocupa la *i-ésima* posición en la muestra (con la muestra ordenada de menor a mayor);
- Promedio = $(x_1 + \ldots + x_n) / n$ es la media muestral;
- las variables a_i se pueden calcular:

$$(a_1, \ldots, a_n) = \frac{m^\top V^{-1}}{(m^\top V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

Donde:

$$m = (m_1, \ldots, m_n)^\top$$

$m_1, \ldots, m_n$ Considerados los valores medios del estadístico ordenado, que implica variables aleatorias independientes y distribuidas idénticamente, como resultado de las muestras de distribución normal.

V: Matriz de covarianzas de ese estadístico de orden.

Si W es demasiado pequeño, la hipótesis nula no se aceptará.

Es importante considerar que W puede estar entre 0 y 1.

Interpretación: Considerando que la población está distribuida normalmente y que ello se

considera como la hipótesis nula, se debe contemplar lo siguiente:

La hipótesis nula se rechaza, si p-valor es menor a alfa (nivel de significancia), entonces:

Si el p-valor es mayor a alfa, la hipótesis no se rechaza.

Respecto al nivel de normalidad, esta se comprueba comparando un estimador no paramétrico al numerador y un estimador paramétrico (varianza muestral), al denominador; es decir dos estimadores de la varianza σ^2:

$$F_n(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\begin{cases} 1 & \text{si } y_i \leq x, \\ 0 & \text{alternativa.} \end{cases}$$

Para dos colas el estadístico viene dado por

$$D_n^+ = \max(F_n(x) - F(x))$$

$$D_n^- = \max(F(x) - F_n(x))$$

donde $F(x)$ es la distribución presentada como hipótesis.

Coeficiente de correlación de Pearson

Mide la covariación entre dos o más variables que se suponen interrelacionadas linealmente, su fácil ejecución e interpretación la convierte en una útil herramienta estadística. Sus valores absolutos están en el rango de 0 a 1, entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Se puede especificar que, si la relación de variables X e Y que guardan entre sí, es perfecta positiva siempre y cuando ello aumente una en función de la otra. Esto lo podemos apreciar en el siguiente gráfico, en donde se aprecia que hay una proporcionalidad y tendencia entre ambas variables. Un ejemplo más palpable de ello es la relación entre fórmulas físicas con el espacio tiempo, que dan vectores de velocidad. Gráficamente se puede apreciar mejor la relación:

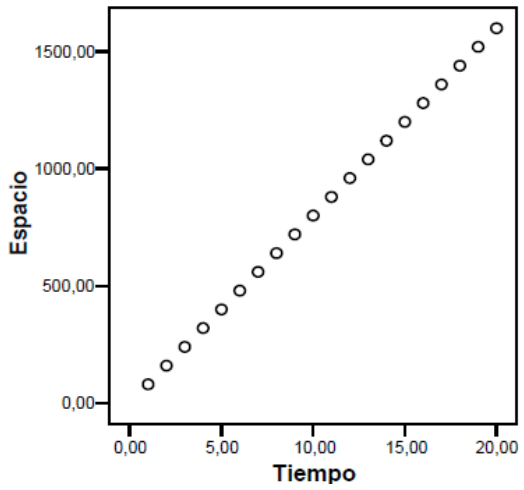


Figura 15: Correlación de Pearson positiva
Morales, R & Rodríguez, L (2016). *Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall y Spearman*

Al igual que la connotación anterior para una correlación positiva, cuando se maneja la correlación negativa del modo "perfecto"; implica que las correlaciones entre las variables disminuyen de forma proporcional e igual. Esto lo podemos apreciar mejor en el siguiente gráfico:

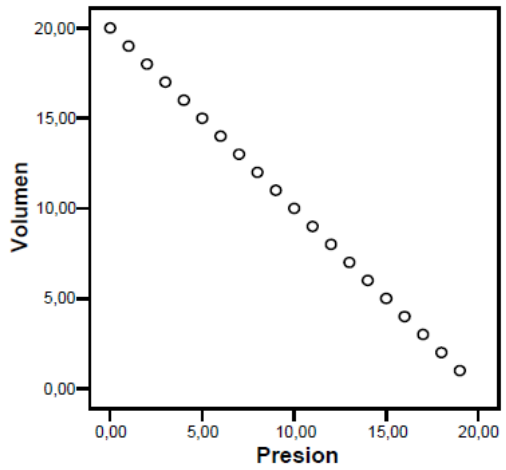


Figura 16: Correlación de Pearson negativa
Morales, R & Rodríguez, L (2016). *Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall y Spearman*

El coeficiente de correlación de Pearson se define:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Esto se refiere al promedio de los productos cruzados, considerando una escala de validación en términos absolutos, entre 0 y 1.

Estas puntuaciones muestran cómo un factor puede separarse respecto a otro en cuanto a su media. Bajo esta premisa, tomamos dos medidas en X e Y. Si hay una superioridad o inferioridad será positiva perfecta. Esto se da cuando Zx = Zy. Para ello se considera:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} = \frac{\sum Z_x Z_x}{N} = \frac{\sum Z_x^2}{N} = 1$$

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \overline{XY}}{S_x S_y}$$

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N} = \frac{\sum\left(\frac{X-\overline{X}}{S_x} * \frac{Y-\overline{Y}}{S_y}\right)}{N} = \frac{\sum\left(X-\overline{X}\right)\left(Y-\overline{Y}\right)}{NS_xS_y} = \frac{\sum\left(XY - X\overline{Y} - \overline{X}Y + \overline{XY}\right)}{NS_xS_y} =$$

$$= \frac{1}{S_xS_y}\left(\frac{\sum XY}{N} - \frac{\overline{Y}\sum X}{N} - \frac{\overline{X}\sum Y}{N} + \frac{N\overline{XY}}{N}\right) = \frac{1}{S_xS_y}\left(\frac{\sum XY}{N} - \overline{XY} - \overline{XY} + \overline{XY}\right) = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \overline{XY}}{S_xS_y}$$

Esta fórmula resulta de gran utilidad cuando son conocidos los valores de X e Y. De igual forma se consideran sus desviaciones tipo, que suele ser bastante frecuente. Caso contrario, podemos usar la siguiente fórmula para hallar r_{xy} con puntuaciones directas:

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \overline{XY}}{S_xS_y} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \frac{\sum X}{N}\frac{\sum Y}{N}}{\sqrt{\frac{\sum X^2}{N} - \left(\frac{\sum X}{N}\right)^2}\sqrt{\frac{\sum Y^2}{N} - \left(\frac{\sum Y}{N}\right)^2}} = \frac{N\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{N\sum X^2\left(\sum X\right)^2}\sqrt{N\sum Y^2\left(\sum Y\right)^2}}$$

Asimismo, en puntuaciones diferenciales, el coeficiente de Pearson puede tomarse de la siguiente forma:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sqrt{\sum y^2}}}$$

Se dice que un coeficiente de correlación es significativo si es factible confirmar que con una cierta probabilidad, este es diferente de 0. Para ello, como siempre, tendremos 2 hipótesis posibles:

H_0: $r_{xy} = 0$ => El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuya correlación es cero (p = 0).

H_1: $r_{xy} = 0$ => El coeficiente de correlación obtenido procede de una población cuyo coeficiente de correlación es distinto de cero (p ≠0).

Del análisis de una H Nula se puede comprobar que la distribución muestral nutrida por relaciones entre sus variables originadas por una población caracterizada por una correlación similar a 0 (p = 0). A su vez esto implica el análisis de una ley de Student, considerando (N-2) grados de libertad:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}$$

De lo anterior, teniendo este coeficiente de correlación r_{xy} se puede tener la siguiente forma de comprobar si esta distribución muestral está incluida en la Hipótesis nula, según la siguiente fórmula:

$$t = \frac{r_{xy} - 0}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}}$$

t > t (α,N−2) => No se acepta la Hipótesis nula. Por tanto, hay relación entre las variables.

t ≤ t (α,N− 2) =>No se rechaza la Hipótesis nula. Por tanto, no hay relación entre ambas variables.

Prueba de Rho Spearman

Esta función busca hallar si hay una correlación lineal de 2 variables en cuanto a su nivel ordinal, verificando que no sea al azar.

Se debe tener cuidado en el error de usar este coeficiente para medir los mismos eventos.

Este coeficiente mide el nivel de asociación entre 2 variables, sin tomar en cuenta sólo el nivel. Por ejemplo, si son cantidades diferentes la correlación podría ser 1 y sin embargo, su concordancia nula. Es por ello, que este coeficiente es muy usado cuando los datos a medir o relacionar tienen valores extremos.

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

en donde d i = r xi – r yi es la diferencia entre los rangos de X e Y.

otra consideración a la fórmula es la siguiente:

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n^3 - n}$$

Formulación de hipótesis:

a. **Prueba unilateral derecha**

Ho: X e Y son independientes entre sí.

H1: Implica una proyección para tener parejas entre valores grandes de X e Y.

b. **Prueba unilateral izquierda**

Ho: X e Y son independientes entre sí.

H1: Implica una proyección para tener parejas entre valores pequeños de X e Y.

c. **Prueba bilateral**

Ho: X e Y son independientes entre sí.

H1: X e Y no son independientes entre sí.

Lo indicado en los incisos b) y c) se usan, cuando se desea comprobar si las variables analizadas tienen relación directa o inversa. Respecto al inciso a) implica el uso de prueba bilateral, con el fin de verificar si hay alguna desviación en su independencia.

Prueba de Kendall (W)

Esta prueba implica saber el nivel de relación viable o concordancia que hay entre expertos. Dicho valor está entre 0 y 1. En ello, 1 significa una concordancia total (valor deseado) y 0 un desacuerdo total.

Cuando se estudia la relación entre variables cualitativas de tipo ordinal se debe utiliza el coeficiente W (1938), también llamado τ (tau) de Kendall, que contempla dos variantes tau-b y tau-c; además su aplicación tiene sentido si las variables objeto de estudio no poseen una distribución poblacional conjunta normal; es decir, si se requiere determinar el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas pero las mismas no siguen un comportamiento normal, será preferible estimar este indicador mediante el coeficiente de Kendall. Como este indicador está basado en rangos y no en los datos originales, su estimación requiere que los valores de la variable ordinal sean transformados en rangos, este coeficiente se ve poco afectado ante la presencia de un número pequeño de valores

atípicos (extremos) en la muestra estudiada, adaptándose bien en aquellas variables que reportan moderadas asimetrías en torno a la relación general. Una particularidad que representa mucho al coeficiente de Kendall es su capacidad de dar valores más bajos respecto a coeficientes de Spearman y Pearson, bajo circunstancias en donde se analiza las asociaciones lineales bajo intensidad similar (sin la presencia de valores atípicos); por ejemplo, se presentan casos donde correlaciones de gran relevancia son reportadas por Spearman y Pearson, considerando cerca de 0,90, mientras Kendall lo reportaría cercano a 0,70. Este dato no es factible de traducir como si el coeficiente de Kendall es poco preciso que los otros dos, sino que tau se determina a partir de valores top, e inclusive reporta la misma tendencia en datos con distribución monótonas no lineales, en comparación con Spearman. Según Siegel y Castellan (1998, pág. 285, 287), para determinar el coeficiente de correlación de Kendall en una muestra de tamaño n pares de datos, tomados de dos variables aleatorias digamos X e Y, el cual se denota por Txy, se utiliza la expresión de la Tabla:

Caso 1: Sin Observaciones Empatadas:

(1)

$$T_{XY} = \frac{2 \cdot S}{n(n-1)}$$

Donde:

S = P – M.

P= Nro. de valores positivos o "Acuerdos". Esto es el número de veces de incrementos de Y conforme se incrementa X, o el número de $y_i < y_j$ para todo i <j.

M = Nro. de valores Negativos o "Desacuerdos". Esto es el número de veces que disminuye Y cuando se incrementa X, o el número de $y_i > y_j$ para i <j.

Para todo i = 1, ..., (n - 1) y j = (i + 1), ..., n.

Caso 2: Con Observaciones Empatadas:

(2)

$$T_{XY} = \frac{2 \cdot S}{\sqrt{n(n-1) - T_X} \cdot \sqrt{n(n-1) - T_Y}}$$

Donde:

$T_X = \sum t(t-1)$, siendo t el número de observaciones empatadas en cada grupos de empates de la variable X.

$T_Y = \sum t(t-1)$ = siendo t el número de observaciones empatadas en cada grupos de empates de la variable Y.

Figura 17: Aplicación de Kendall

Morales, R & Rodríguez, L (2016). *Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall y Spearman*

El coeficiente Txy de Kendall varía de -1 a +1. Como se puede notar se realizan un total de n(n-1)/2 posibles comparaciones de n pares de datos, en consecuencia si todos los valores de Y se incrementan junto con los valores de X, entonces S= n(n-1)/2 de tal manera que TXY = +1, por el contrario si todos los valores Y decrecen con el incremento de los valores de X, entonces S= -n(n-1)/2 y por lo tanto T_{XY} = -1. También Siegel y Castellan (1998), recomiendan que si se estudia la correlación en muestras con tamaños **n** mayor de 10 datos, se puede efectuar una aproximación de TXY a una distribución normal, para las pruebas de significación.

Significancia de kendall						
N	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.002
4	1	1	**	**	**	**
5	0.8	0.8	1	1	**	**
6	0.6	0.733	0.867	0.867	1	**
7	0.524	0.619	0.714	0.81	0.905	1
8	0.429	0.571	0.643	0.714	0.786	0.857
9	0.389	0.5	0.556	0.667	0.722	0.833
10	0.378	0.467	0.551	0.6	0.644	0.778
11	0.345	0.418	0.491	0.564	0.6	0.709
12	0.303	0.394	0.455	0.545	0.576	0.667
13	0.308	0.359	0.436	0.513	0.564	0.641
14	0.275	0.363	0.407	0.473	0.516	0.604
15	0.276	0.333	0.39	0.467	0.505	0.581
16	0.25	0.317	0.383	0.433	0.483	0.567
17	0.25	0.309	0.368	0.426	0.471	0.544
18	0.242	0.294	0.346	0.412	0.451	0.529
19	0.228	0.287	0.333	0.392	0.439	0.509
20	0.221	0.274	0.326	0.379	0.421	0.495
21	0.21	0.267	0.314	0.371	0.41	0.486
22	0.203	0.264	0.307	0.359	0.394	0.472
23	0.202	0.257	0.296	0.352	0.391	0.455
24	0.202	0.246	0.29	0.341	0.377	0.449
25	0.296	0.24	0.287	0.333	0.367	0.44
26	0.193	0.237	0.28	0.329	0.36	0.428
27	0.188	0.231	0.271	0.322	0.356	0.419
28	0.179	0.228	0.265	0.312	0.344	0.413
29	0.18	0.222	0.261	0.31	0.34	0.404
30	0.172	0.218	0.255	0.301	0.333	0.393

Figura 18: Tabla de significancia de Kendall

Morales, R & Rodríguez, L (2016). *Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall*

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico.

Objetivo Específicos

Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico.

Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánico.

Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánica.

Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el total de pasadas, en una empresa del sector metalmecánico.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

Ha: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico.

Ho: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico.

Hipótesis Específicas

Hipótesis Específico 1

Ha1: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánica.

Ho1: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánica.

Hipótesis Específico 2

Ha2: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánico.

Ho2: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánico.

Hipótesis Específico 3

Ha3: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánica.

Ho3: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánica.

Hipótesis Específico 4

Ha4: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el total de pasadas, en

una empresa del sector metalmecánico.

Ho4: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el total de pasadas, en una empresa del sector metalmecánico.

La Matriz de consistencia se encuentra en el Anexo 2.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo o proyecto que se investiga se justifica a partir de los siguientes criterios:

Justificación Teórica

La investigación se justifica porque busca ofrecer una explicación teórica del tiempo de procesamiento, a través de las variables: diámetro, área, número de pasadas, temperatura y grado de suciedad. Según Jablonsky y Skocdopolova (2017) mencionan que con la optimización se pueden minimizar los costos totales de la producción y este puede darse a través de la planificación estratégica y operativa en cada empresa industrial, se ha podido evidenciar resultados positivos con la optimización de procesos como, por ejemplo: generando ahorros y mejorando la capacidad para competir en el entorno económico. Hoy en día ha quedado demostrado que las compañías están interesadas en seguir continuar optimizando para incrementar la productividad (pp. 39-46)**.**

Justificación Práctica

La investigación se justifica en la práctica, porque se refiere a una situación operativa, de una empresa, pero que puede ser extrapolar a otras empresas que tienen el mismo proceso, permitiendo ofrecer un servicio en tiempo y costo apropiado.

Justificación Económica

El tema económico es fundamental dado que la optimización del proceso de metalizado busca mejorar la productividad la cual implica una mejor rentabilidad basándonos en los requerimientos de la compañía y las expectativas del cliente. El control de tiempos es uno de los métodos prioritarios para evaluar la capacidad del área de producción y sobre todo el área de metalizado. Ello permitirá conocer los

resultados y brindar recomendaciones para que la empresa pueda tomar medidas efectivas e implementar mejoras para la eficiencia en el área de producción lo que beneficiará directamente al desarrollo del personal, así como de la rentabilidad de la empresa.

MARCO METODOLÒGICO

Metodología

La presente investigación es de tipo explicativo ya que se evalúa, el cómo los factores: área de superficie de mecanizado; número de pasadas del recubrimiento; temperatura de calentamiento y grado de suciedad influyen en el tiempo del proceso total de metalizado. Para Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014), las investigaciones de este tipo se centran en exponer y detallar la razón del por qué se presenta un hecho no normal y bajo qué situaciones o contexto se da y cómo se relaciona con sus variables. (p. 101)

Paradigma

El paradigma es positivista, y también es conocido como paradigma cuantitativo, pues tiene su origen en el método científico impulsado a inicios del siglo XX. El estudio de los eventos se caracteriza por la búsqueda de leyes que expliquen la ocurrencia de estos, por tanto, son dependientes de la experimentación y de carácter nomotético. Este paradigma, se caracteriza también, pues va alejado de la subjetividad e ideologías.

Enfoque

Hernández y Mendoza (2018) indican que el enfoque cuantitativo se realiza con la finalidad recolectar datos que sean medibles, ya que para lograr resultados se necesita mayor formalización y delimitación de valores cuantificables. Es por ello que esta

investigación es de enfoque cuantitativo, pues además contará con hipótesis probatorias.

Método

El diseño que se utilizara para la investigación es no experimental. Según Hernández et àl (2014) este tipo se conceptualiza sin realizar e influenciar y modificar alguna variable. Es decir, trata de estudios a través de la observación y se plasma de manera verídica como sucede en el contexto real, para su respectivo análisis.

Según Sabino (2014) para el método no experimental no existe manipulación directamente en las variables o alguna injerencia en el problema real.

VARIABLE

Variables independientes

El número de pasadas, representa el número de material aportado uno sobre otro, en forma aditiva, parecido al proceso de soldadura, éste valor se obtiene al dividir el diámetro resultado del mecanizado previo (restando desgaste) menos el diámetro final de la pieza de trabajo y por último se le agrega, o resta en dependencia si es alojamiento o eje, un milímetro más, y se divide entre 0.15 mm, que es el espesor estándar de recubrimiento por pasada.

El grado de suciedad, representa de manera cuantitativa la cantidad de aceite, grasa, óxido, pintura u otro aditivo que se ubique en el área que se desea recuperar, y que afecta la adherencia del metalizado, por ello este primero debe ser retirado a través de la aplicación de llama directa, cuya temperatura depende del grado de suciedad, que se determina visualmente, en relación a un patrón ya establecido y presentados en la Tabla 03.

El área de trabajo, resulta de estimar la superficie circular de trabajo; sin

embargo, en dependencia a la funcionalidad de la pieza, esta puede tener más de un área de trabajo (sector), por ello el área que se muestra en la imagen representa la suma de las áreas de trabajo a recuperar.

La temperatura promedio de calentamiento, la pieza es calentada para su limpieza y por efectos de la operación a través de flama directa. Esta temperatura oscila entre los 100 y 250 ºC.

Variable dependiente

El tiempo de metalizado, es el tiempo total, desde que la pieza a recuperar se dirige al torno. incluye su calentamiento y posterior adherencia de material, hasta acabar con el total de número de pasadas.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

La población que va a ser estudiada se configura con base a la unidad de análisis. Luego, de esta población se extrae una muestra, para generalizar los resultados. “La población, es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández, 2004. p. 174). La población la representan las piezas recuperadas a través del proceso de metalizado, ocurridos en un año en una empresa metalmecánica en el 2018.

Muestra

“La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población” (Hernández, 2004, p. 175). Este subgrupo para que pueda ser representativo, requiere definir apropiadamente: su

tamaño y el método de selección. En relación a este último, se establece que la técnica de muestreo es intencional y no probabilística, por el hecho que la elección del subgrupo de la población no depende de la probabilidad, sino de la disponibilidad e intencionalidad del investigador, Hernández (2008). Por su parte, en relación al tamaño, se sabe que **l**a empresa procesa aproximadamente 360 piezas al año, lo que tomaremos como población, ósea N = 360. P, representa la probabilidad esperada, igual 0.95 (95.00%), Q por complemento es igual a 0.05, D = 0.05, y Za = 1.96 (95%), luego aplica la fórmula:

$$n = \frac{N\ x Z_a^2\ x\ p\ x\ q}{d^2\ x\ (N-1) +\ Z_a^2\ x\ p\ x\ q}$$

En donde:

N = tamaño de la población
Z_a^2 = nivel de confianza
P = Probabilidad de éxito, o proporción esperada
Q = Probabilidad de fracaso
D = Precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

$$n = \frac{360\ x\ 1.96^2\ x\ 0.95\ x\ 0.05}{0.05^2\ x\ (360-1) +\ 1.96^2\ x\ 0.95\ x\ 0.05} = 60$$

Al reemplazar obtenemos que el tamaño de la muestra es de 60 unidades.

UNIDAD DE ANÁLISIS

Para Hernández (2008), la unidad de análisis o como él la define, la unidad de muestreo, se distingue porque es a partir de estos (objetos, sucesos, personas) donde se recolectarán los datos que para este caso, son las piezas metalizadas de la cual se extraerá la información: tiempo de metalizado, área de desgaste; grado de suciedad de la zona de desgaste y el número de pasadas a aplicar. En la Tabla 01 se observa:

Tabla 01: Muestra de estudio

MUESTRA	TIPO DE PIEZA	AREA TOTAL	GRADO SUCIEDAD	TEMP PROMEDIO	TOTAL PASADAS	TIEMPO REAL	TIEMPO EMPÌRICO
1	ALOJAMIENTO	1,116	1	150	11	105	160
2	EJE	0,669	2	200	13	95	120
3	ALOJAMIENTO	3,644	1	150	35	140	190
4	ALOJAMIENTO	2,582	1	150	27	122	160
5	ALOJAMIENTO	0,382	1	150	13	78	120
6	ALOJAMIENTO	3,718	1	150	35	130	200
7	EJE	0,212	1	150	8	75	100
8	EJE	0,390	2	200	12	95	125
9	ALOJAMIENTO	1,338	1	150	20	100	140
10	ALOJAMIENTO	0,264	3	250	4	45	90
11	EJE	0,024	3	250	3	40	85
12	EJE	0,015	3	250	3	40	80
13	EJE	0,801	3	250	30	180	240
14	ALOJAMIENTO	2,115	1	150	22	120	160
15	ALOJAMIENTO	0,622	2	200	10	90	120
16	EJE	0,212	1	150	6	50	80
17	ALOJAMIENTO	0,410	1	150	5	45	85
18	ALOJAMIENTO	0,256	1	150	4	40	75
19	ALOJAMIENTO	4,015	1	150	30	120	170
20	ALOJAMIENTO	3,077	1	150	26	105	160
21	ALOJAMIENTO	2,533	1	150	29	120	180
22	ALOJAMIENTO	0,866	1	150	9	55	80
23	EJE	0,403	1	150	11	85	115
24	ALOJAMIENTO	0,695	1	150	7	80	110
25	ALOJAMIENTO	0,157	1	100	6	235	315
26	EJE	0,063	1	150	4	50	65
27	EJE	0,027	1	150	2	40	55
28	ALOJAMIENTO	0,064	1	150	2	40	55
29	EJE	0,014	1	150	2	40	55
30	ALOJAMIENTO	0,358	1	150	4	45	60

INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS

Un instrumento para Hernández (2008), "es un recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente"(p.199), estos pueden ser utilizados en diversas etapas y formas, en dependencia de los objetivos de investigación.

En el caso de esta investigación, los datos han sido registrados en hoja de recogida de datos, que se le conoce como reporte de producción.

Tabla 02: Instrumento y técnica aplicado por variable

Variable	Instrumento	Técnica
Tiempo de metalizado	Reloj digital	Observación directa
Número de pasadas	Conteo visual	Observación directa
Grado de Suciedad	Inspección visual	Observación directa
Área de desgaste	Micrómetro	Observación directa
Temperatura de calentamiento	Termómetro Laser	Observación directa

El reloj digital utilizado posee una precisión de +/-30 segundos día, lo que es suficiente para los efectos de medir el tiempo de metalizado que supera 45 minutos en cada pieza. Asimismo, el observador posee una agudeza visual de 20/20, y el área iluminada con. Los reportes de calibración anual de los calibradores y pirómetro se encuentran en el Anexo 01.

PROCEDIMIENTOS Y MÉTODO DE ANÁLISIS

Los datos para ser analizados, primero se deben obtener y luego organizar, para ello se describen los procedimientos y métodos de análisis de los datos usados para cada uno de los objetivos de investigación.

Para establecer la correlación entre el tiempo de metalizado y el número de pasadas, primero se debe conocer el diámetro de trabajo y luego medir el nivel de desgaste que éste tiene, posteriormente se debe mecanizar en torno la pieza hasta llevarla a un valor mínimo necesario para que haya desaparecido el desgaste. Es a partir de esta base en la que se adicionará el metalizado, por ello esta debe ser la mínima necesaria para no dilatar los tiempos, ni generar un exceso en el consumo de material de aporte. Luego, para estimar el número de pasadas, se resta el diámetro resultado del mecanizado menos el diámetro final de la pieza de trabajo y por último se le agrega, o resta en dependencia si es alojamiento o eje, un milímetro más, y se divide entre 0.15 mm, que es el espesor estándar de recubrimiento por pasada. Finalmente, el método de análisis será el de correlación a través del software SPSS, previamente se validará la normalidad de los datos también por el mismo software.

Para el establecer la correlación entre el tiempo de metalizado y el grado de suciedad, se debe tener en cuenta que la cantidad de aceite, grasa, óxido, pintura u otro aditivo que se ubique en el área que se desea recuperar, afecta la adherencia del metalizado, por ello este primero debe ser retirado a través de la aplicación de llama directa, cuya temperatura depende del grado de suciedad, que se determina visualmente, en relación a un patrón ya establecido en Tabla 03. Existen tres grados de suciedad definidos, siendo el primero el que se relaciona a una pieza que se encuentra apta, quiere decir limpia, sin pintura ni trazas de aceite, ni óxido. El segundo grado, se relaciona a piezas que presentan oxidación ligera o coloración opaca (rojiza), en tanto

que el tercer grado, se relaciona a las piezas con presencia de aceite, grasa o aditivos adicionales. Finalmente, el método de análisis será el de correlación a través del software SPSS, previamente se validará la normalidad de los datos también por el mismo software.

Tabla 03, patrón para valoración del grado de suciedad

Grado	Óxidos	Grasas y Aceites	Pinturas	Temperatura
1	No presenta	No presenta	No presenta	150ºC
2	Leve	Presenta	No presenta	200ºC
3	Moderado	Presenta	Presenta	250ºC

La temperatura es controlada a través de un termómetro digital o pirómetro.

Figura 19: Pieza apta para metalizado, considerada Grado 1

Figura 20: Pieza con oxidación, considerada Grado 2

Figura 21: Pieza con trazas de pintura, considerada Grado 3

Para el establecer la correlación entre el tiempo de metalizado y el área de

desgaste, se tomaron 30 piezas como parte de la muestra de estudio, todas con formas de trabajo circular, diferenciándolas por su funcionalidad como: alojamiento o eje, siendo el primero representado en la Figura. 19, lado derecho, y el segundo, el eje, en

$$\grave{A}rea = \sum_1^i B_i \,.\, D_i^2 \,.\, \pi$$

lado izquierdo.

Dónde;

Di = diámetro de trabajo del sector i

Bi = ancho de trabajo del sector i

i= son todos los sectores de trabajo de la pieza.

Para ambos casos, el área de trabajo resulta de una superficie circular; sin embargo, en dependencia a la funcionalidad de la pieza, esta puede tener más de un área de trabajo (sector), por ello el área que se muestra en la imagen representa la suma de las áreas de trabajo a recuperar. Finalmente, el método de análisis será el de correlación a través del software SPSS, previamente se validará la normalidad de los datos también por el mismo software.

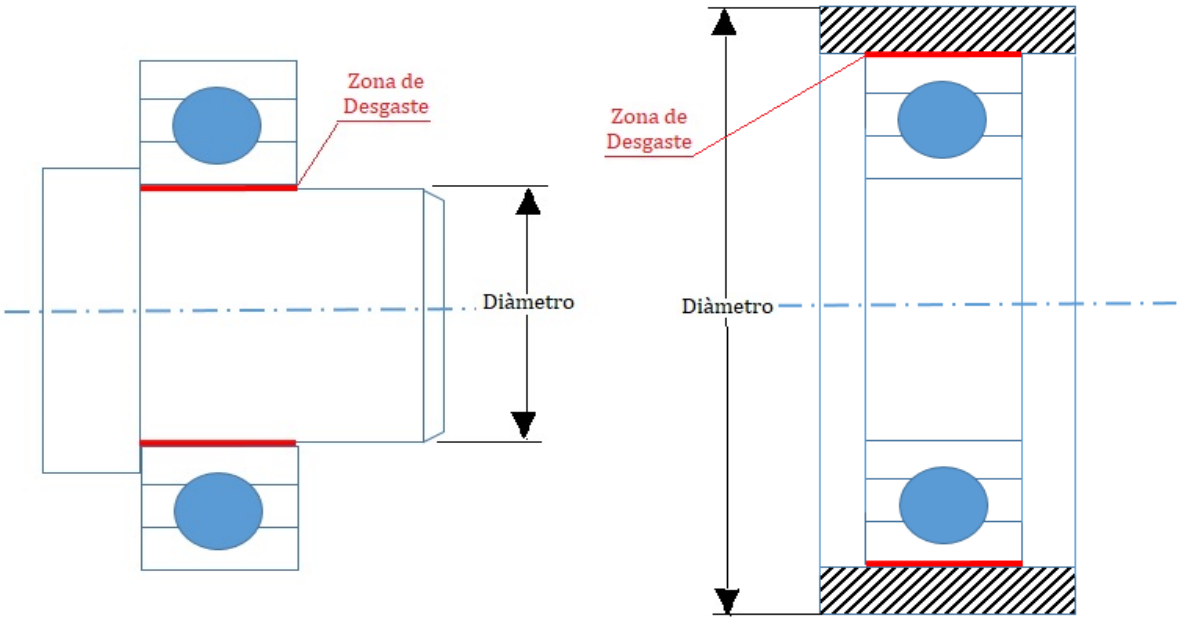


Figura 22: Esquema de una pieza a recuperar (eje izquierda y alojamiento a la derecha), señalando el diámetro de la pieza y la zona de desgaste.

Para el establecer la relación entre el tiempo de metalizado y el número de pasadas, grado de suciedad y área de desgaste, se tomaron 30 piezas como parte de la muestra de estudio, Finalmente el método de análisis será el de regresión lineal multivariable a través del software SPSS.

El proceso de Metalizado (termorociado con llama), se lleva a través de un equipo de arco sumergido modelo DSE 0055.6, marca oerlikon, asimismo usa una pistola automática modelo de SmartArc. Aplica como material de aporte el acero AISI 420, bajo un amperaje de 250 amperios, y aporta un espesor de relleno por pasada de 0.40 mm aproximadamente, una velocidad de avance de 3% respecto al valor nominal.

Figura 23: Pistola de metalizado PPG, marca Oerlokon.
Fuente: www.oerlikon.com

SmartArc PPC Console and 350RU Power Supply
(shown with optional Power Supply Truck)

Figura 24: Consola de metalizado modelo PPC, marca Oerlikon.

Fuente: www.oerlikon.com

RESULTADOS

Pruebas de Normalidad de Shapiro Wills

Con base a la cantidad de datos, 30, se establece que la prueba de normalidad, a utilizar será a través de Shapiro Wills, dejando de lado la de Kolmogorov Smirnov que aplica solo cuando la data es mayor a 30. Asimismo, se deben establecer las siguientes hipótesis a validar.

Ho: la variable tiene un comportamiento normal.

Ha: la variable no tiene un comportamiento normal.

Luego, los resultados en SPPS, observados en la Tabla 04, indican que el grado de significancia es menor a 0.05, por lo que se indica que los valores tienen un comportamiento normal.

Tabla 04: Resultados de prueba de Normalidad Shapiro Wilk

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AREA	,256	30	,000	,770	30	,000
G_SUCIEDAD	,462	30	,000	,548	30	,000
T_PROMEDIO	,437	30	,000	,646	30	,000
T_PASADAS	,204	30	,003	,847	30	,001
TIEMPO_T	,152	30	,075	,916	30	,021

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de Análisis Correlacional Multivariado por Rho Spearman

En consecuencia, con los resultados obtenidos anteriormente, se procede a realizar la prueba de relación multivariable por el coeficiente paramétrico Pearson, estableciendo las siguientes hipótesis.

Ho: la variable 1 no tiene relación con la variable 2.

Ha: la variable 1 sí tiene relación con la variable 2.

Luego, los resultados en SPPS, mostrado en la Tabla 05, indican que;

Tabla 05: Resultados de pruebas de correlación de Pearson

Correlaciones

		AREA	G_SUCIEDAD	T_PROMEDIO	T_PASADAS	TIEMPO_T
AREA	Correlación de Pearson	1	-,292	-,244	,904**	,447*
	Sig. (bilateral)		,117	,193	,000	,013
	N	30	30	30	30	30
G_SUCIEDAD	Correlación de Pearson	-,292	1	,971**	-,128	-,020
	Sig. (bilateral)	,117		,000	,499	,915
	N	30	30	30	30	30
T_PROMEDIO	Correlación de Pearson	-,244	,971**	1	-,092	-,136
	Sig. (bilateral)	,193	,000		,629	,473
	N	30	30	30	30	30
T_PASADAS	Correlación de Pearson	,904**	-,128	-,092	1	,583**
	Sig. (bilateral)	,000	,499	,629		,001
	N	30	30	30	30	30
TIEMPO_T	Correlación de Pearson	,447*	-,020	-,136	,583**	1
	Sig. (bilateral)	,013	,915	,473	,001	
	N	30	30	30	30	30

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Según los datos obtenidos y reflejados en la Tabla 05, existe un grado de relación de Pearson de 0,447 entre el tiempo total del metalizado y el área de trabajo, ofreciendo además un grado de significancia igual 0,013, lo que permite rechazar la hipótesis nula que establece que no existe relación entre la variable área de trabajo y el tiempo de metalizado, y dar por aceptada la hipótesis alternativa que establece que sí existe una relación entre la variable área de trabajo y tiempo de metalizado. Lo indicado se evidencia en la gráfica de dispersión representada en la Figura. 22

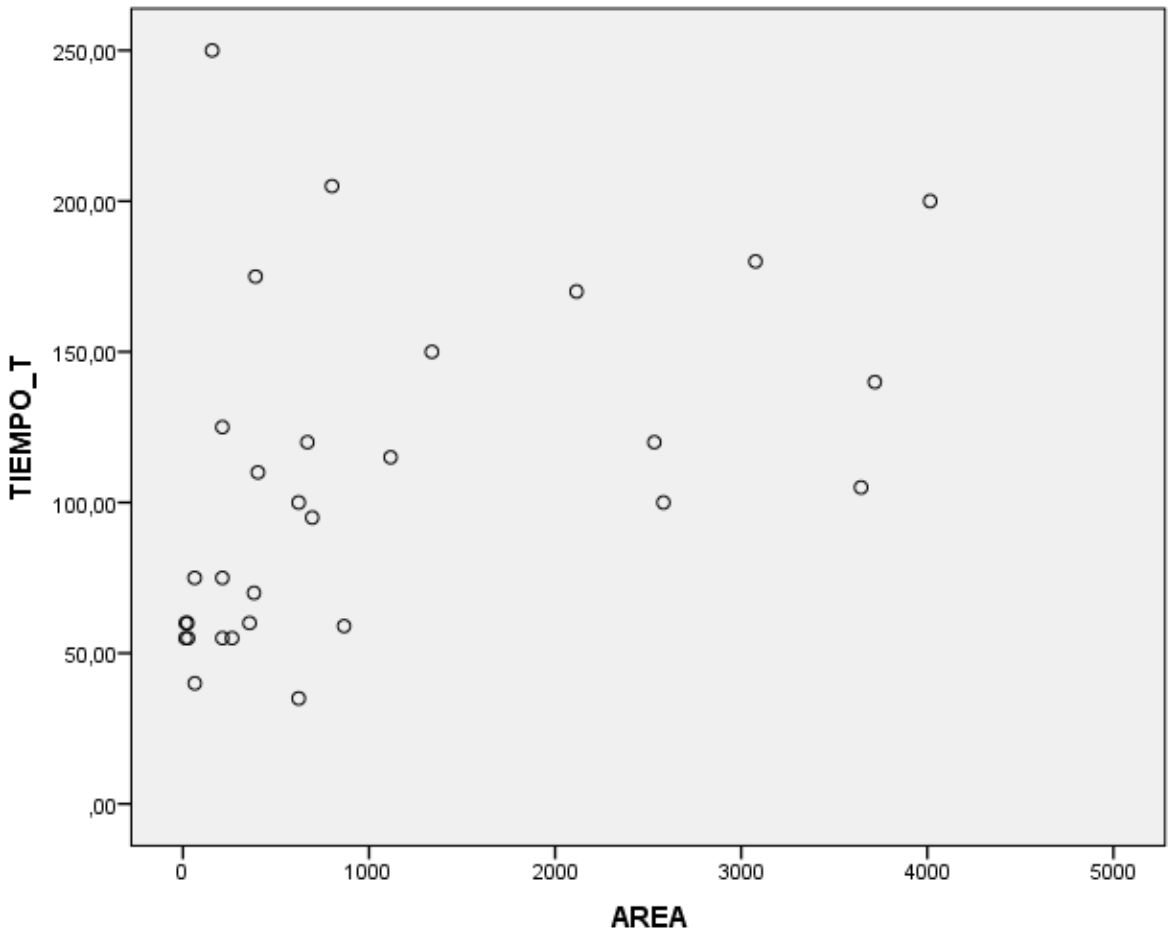


Figura 25: Diagrama de Dispersión área de mecanizado y tiempo total de metalizado
Fuente: SPSS 22

De igual modo, existe un grado de relación de Pearson de 0,020 entre el tiempo total de metalizado y el grado de suciedad, ofreciendo además un grado de significancia igual 0.117, lo que permite aceptar la hipótesis nula que establece que no existe relación entre la variable grado de suciedad y el tiempo de metalizado, y dar por rechazada la hipótesis alternativa que establece que sí existe una relación entre la variable grado de suciedad y tiempo de metalizado. Lo indicado se evidencia en la gráfica de dispersión representada en la Figura. 23

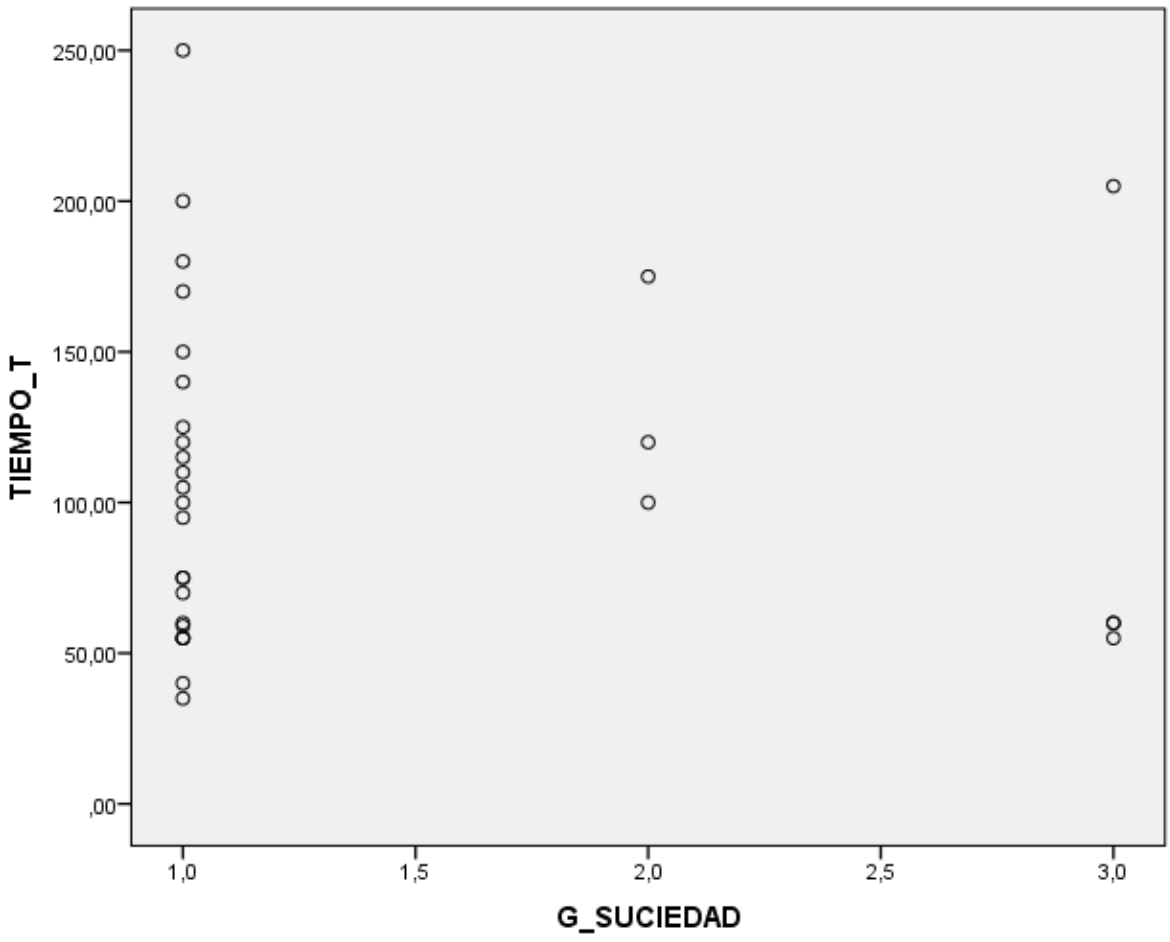


Figura 26: Diagrama de Dispersión Grado de suciedad y tiempo total de metalizado
Fuente: SPSS 22

Asimismo, existe un grado de relación de Pearson de 0,136 entre el tiempo total de metalizado y la temperatura promedio, ofreciendo además un grado de significancia igual 0.473, lo que permite aceptar la hipótesis nula que indica que no hay relación entre la variable temperatura promedio y el tiempo de metalizado, y dar por rechazada la hipótesis alternativa que determina que sí hay una relación entre la variable temperatura promedio y tiempo total de metalizado. Lo indicado se evidencia en la gráfica de dispersión representada en la Figura. 24

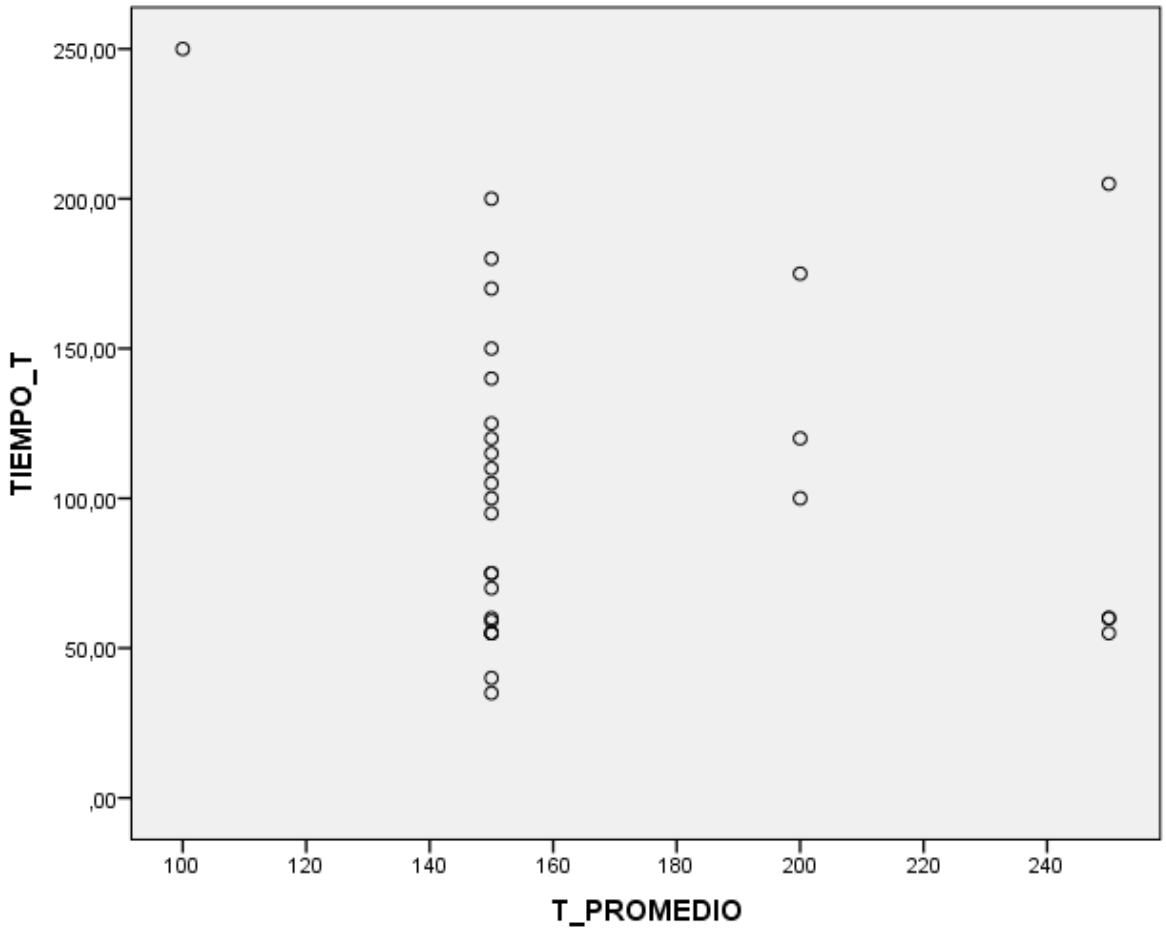


Figura 27: Diagrama de Dispersión Temperatura promedio y tiempo total de metalizado

Fuente: SPSS 22

Finalmente podemos decir que existe un grado de relación de 0,583 entre el tiempo de metalizado y el número de pasadas, ofreciendo además un grado de significancia igual 0.001, lo que permite rechazar la hipótesis nula que establece que no presenta una relación entre la variable número de pasadas y el tiempo de metalizado, y dar por aceptada la hipótesis alternativa que establece que sí existe una relación entre la variable número de pasadas y tiempo de metalizado. Lo indicado se evidencia en la gráfica de dispersión representada en la Figura. 25

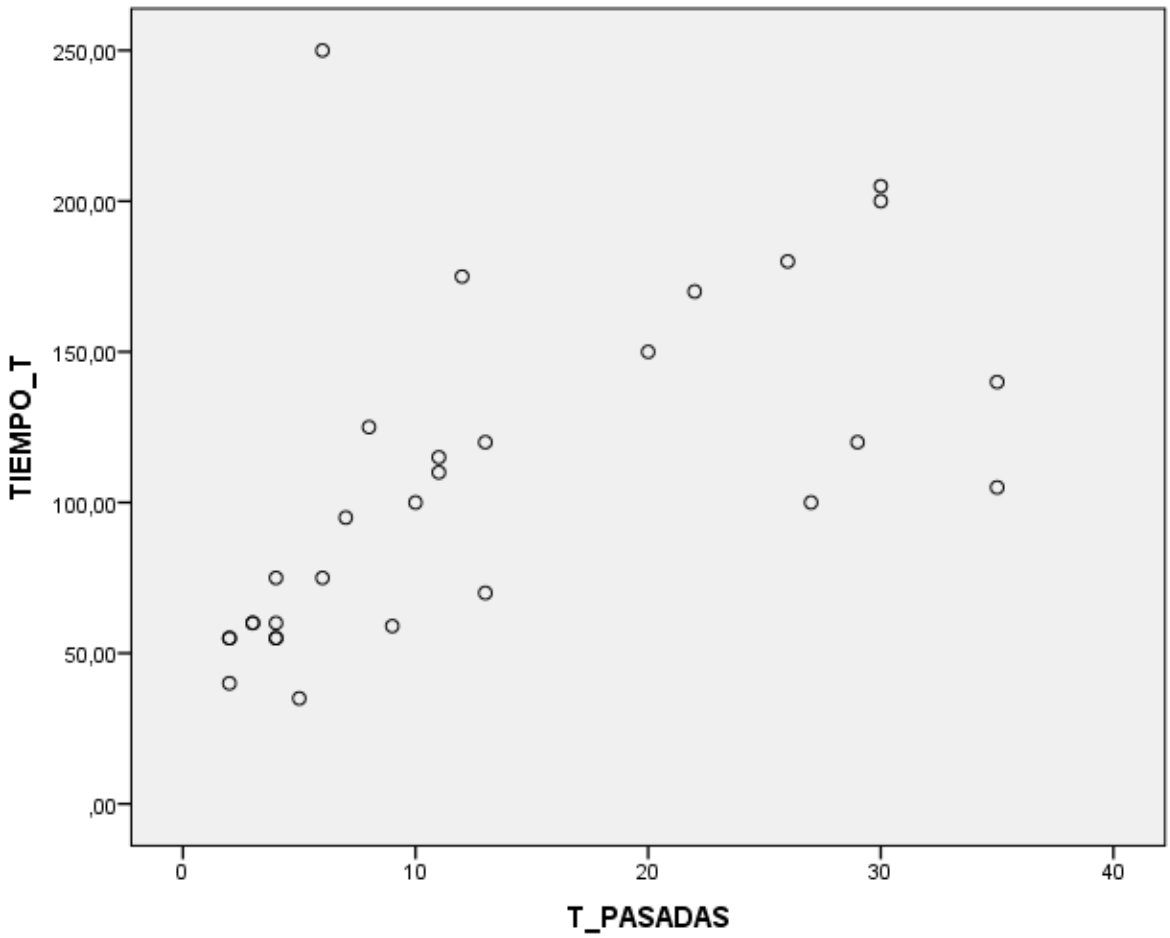


Figura 28: Diagrama de Dispersión Total de pasadas y tiempo total de metalizado
Fuente: SPSS 22

Grado de relación multivariable - Modelo explicativo

Explicar fenómenos a través de sus factores es un tipo de investigación que implica utilizar generalmente modelos lineales, como el de Pearson, por ello, con base a los datos recogidos, y las hipótesis establecidas;

Ho: El grado de suciedad, área de trabajo, número de pasadas y temperatura de calentamiento, no tienen relación ni responden linealmente al tiempo de metalizado.

Ha: El grado de suciedad, área de trabajo, número de pasadas y temperatura de calentamiento, sí tienen relación y además responden linealmente al tiempo de metalizado.

Se obtuvo, a través del SPSS, los siguientes resultados que nos permiten concluir que:

Existe un alto grado de relación (Coeficiente R^2 , igual a 0,684) entre las variables de entrada: grado de suciedad, área de trabajo, número de pasadas y temperatura de calentamiento, lo que explica el fenómeno linealmente de la variable tiempo de metalizado.

Tabla 06: Resultados de coeficiente de correlación de Pearson

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,827[a]	,684	,634	33,58824

a. Predictores: (Constante), T_PASADAS, T_PROMEDIO, AREA, G_SUCIEDAD

Asimismo, el grado significancia presentado en la tabla ANOVA, es de 0,000.

Tabla 07: Resultados de significancia

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	61175,212	4	15293,803	13,556	,000[b]
	Residuo	28204,255	25	1128,170		
	Total	89379,467	29			

a. Variable dependiente: TIEMPO_T
b. Predictores: (Constante), T_PASADAS, T_PROMEDIO, AREA, G_SUCIEDAD

Lo que permite rechazar la hipótesis nula que establece que el grado de suciedad, área de trabajo, número de pasadas y temperatura de calentamiento, no tienen relación ni responden linealmente al tiempo de metalizado, y dar por aceptada la hipótesis alternativa que establece que el grado de suciedad, área de trabajo, número de pasadas y temperatura de calentamiento, sí tienen relación y además responden linealmente al tiempo de metalizado.

Finalmente, se determina que el tiempo de metalizado se explica a través de las variables área de trabajo; grado de suciedad; temperatura de calentamiento y el número de pasadas. Los coeficientes de la ecuación explicativa se definen en la siguiente tabla.

Tabla 08: Resultados de coeficientes de regresión lineal múltiple

Coeficientes

Modelo		Coeficientes no estandarizados B	Coeficientes no estandarizados Error estándar	Coeficientes estandarizados Beta	t	Sig.
1	(Constante)	390,747	67,907		5,754	,000
	AREA	-,014	,013	-,306	-1,052	,303
	G_SUCIEDAD	177,375	37,586	2,295	4,719	,000
	T_PROMEDIO	-3,447	,697	-2,353	-4,942	,000
	T_PASADAS	4,779	1,420	,938	3,364	,002

a. Variable dependiente: TIEMPO_T

La variable tiempo metalizado, queda explicada por la siguiente ecuación lineal.

Ecuación lineal explicativa:

TIEMPO T (Tiempo metalizado) = 390,747 - 0,14.ÁREA + 177,375.G_SUCIEDAD - 3,447.T_PROMEDIO + 4,779.T_PASADAS.

VALIDACIÓN DEL MODELO A TRAVÉS DE LA MEDICIÓN DEL SESGO DE ERROR.

Con las primeras 30 muestras se diseño los valores modelados, empíricos y reales del tiempo de metalizado que se muestran en la Tabla 09, se estiman los sesgos de error, y con ello se compara la eficacia del modelo.

Tabla 09: Cálculo de los sesgos por error (diseño)

AREA TOTAL	GRADO SUCIEDAD	TEMP PROMEDIO	TOTAL PASADAS	TIEMPO REAL	TIEMPO EMPÍRICO	TIEMPO MODELADO	SESGO EMPÍRICO	SESGO MODELO
1.116	1	150	11	105	160	74.518	55	30
0.669	2	200	13	95	120	90.145	25	5
3.644	1	150	35	140	190	160.450	50	20
2.582	1	150	27	122	160	133.410	38	11
0.382	1	150	13	78	120	88.589	42	11
3.718	1	150	35	130	200	159.906	70	30
0.212	1	150	8	75	100	68.078	25	7
0.390	2	200	12	95	125	87.836	30	7
1.338	1	150	20	100	140	112.051	40	12
0.264	3	250	4	45	90	57.601	45	13
0.024	3	250	3	40	85	55.009	45	15
0.015	3	250	3	40	80	55.073	40	15
0.801	3	250	30	180	240	166.796	60	13
2.115	1	150	22	120	160	115.067	40	5
0.622	2	200	10	90	120	77.433	30	13
0.212	1	150	6	50	80	59.373	30	9
0.410	1	150	5	45	85	53.574	40	9
0.256	1	150	4	40	75	50.351	35	10
4.015	1	150	30	120	170	135.976	50	16
3.077	1	150	26	105	160	125.434	55	20
2.533	1	150	29	120	180	142.471	60	22
0.866	1	150	9	55	80	67.646	25	13
0.403	1	150	11	85	115	79.734	30	5
0.695	1	150	7	80	110	60.194	30	20
0.157	1	100	6	235	315	239.976	80	5
0.063	1	150	4	50	65	51.766	15	2
0.027	1	150	2	40	55	43.324	15	3
0.064	1	150	2	40	55	43.052	15	3
0.014	1	150	2	40	55	43.420	15	3
0.358	1	150	4	45	60	49.607	15	5
							1145	353

Los resultados del error son presentados en la figura 26, donde además se evidencia que el error empírico es mayor que el error por sesgo del modelo, dejando claro la eficacia del modelo.

Aplicando la fórmula:

$$\text{Sesgo Empírico} = \lceil Valor\ Real\ - Valor\ Empírico \rceil$$

$$\text{Sesgo Modelo} = \lceil Valor\ Real\ - Valor\ Modelo \rceil$$

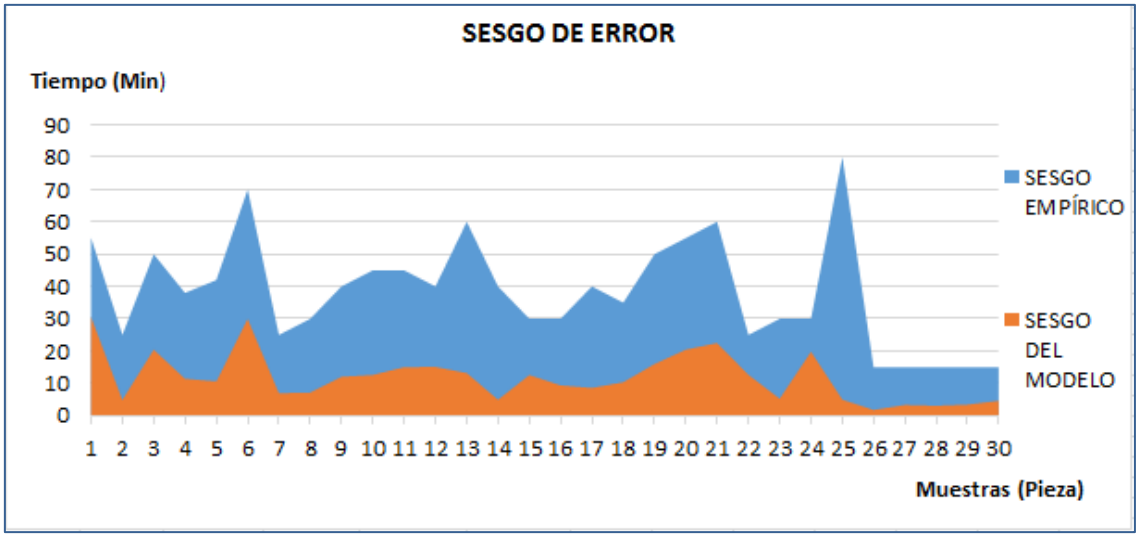


Figura 29: Comparativo del sesgo por estimador empírico y estimador modelado (1)
Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se tomaron 30 muestras para validar lo resultados, ver tabla número 10.

Tabla 10: Cálculo de los sesgos por error (validación)

AREA TOTAL	GRADO SUCIEDAD	TEMP PROMEDIO	TOTAL PASADAS	TIEMPO REAL	TIEMPO EMPÍRICO	TIEMPO MODELADO	SESGO EMPÍRICO	SESGO MODELO
0.672	2	200	6	75	110	59.668	35	15
0.550	3	250	4	50	69	55.511	19	6
0.594	3	250	6	60	110	63.891	50	4
0.197	1	150	2	35	60	42.085	25	7
0.472	3	250	5	70	100	60.429	30	10
0.206	1	150	2	50	75	42.018	25	8
0.088	1	150	2	50	95	42.876	45	7
0.119	2	200	2	45	75	46.305	30	1
0.520	2	200	5	70	110	56.424	40	14
0.113	1	150	2	35	55	42.696	20	8
0.020	2	200	4	95	180	55.732	85	39
0.049	3	250	2	35	75	50.472	40	15
0.026	3	250	2	40	75	50.638	35	11
0.037	3	250	2	49	85	50.561	36	2
0.023	1	150	2	45	80	43.352	35	2
0.027	3	250	2	45	70	50.634	25	6
0.410	1	150	4	67	125	49.226	58	18
0.078	1	150	2	33	65	42.955	32	10
0.012	1	150	2	33	60	43.434	27	10
0.228	3	250	2	45	80	49.162	35	4
1.098	2	200	11	135	215	78.303	80	57
0.092	1	150	6	90	180	60.252	90	30
0.036	1	150	2	45	80	43.260	35	2
0.028	3	250	2	45	75	50.628	30	6
0.129	3	250	2	35	70	49.888	35	15
0.168	3	250	2	35	73	49.600	38	15
1.349	3	250	12	144	200	84.472	56	60
16.225	1	150	160	1200	2200	612.278	1000	588
0.149	3	250	1	35	80	45.388	45	10
0.358	1	150	4	60	90	49.607	30	10
							2166	987

Finalmente, queda demostrando que los valores del sesgo empírico son muy distantes a sesgo modelo como se puede visualizar en la figura 27.

Aplicando la fórmula:

$$\text{Sesgo Empírico} = \lceil Valor\ Real\ - Valor\ Empírico \rceil$$

$$\text{Sesgo Modelo} = \lceil Valor\ Real\ - Valor\ Modelo \rceil$$

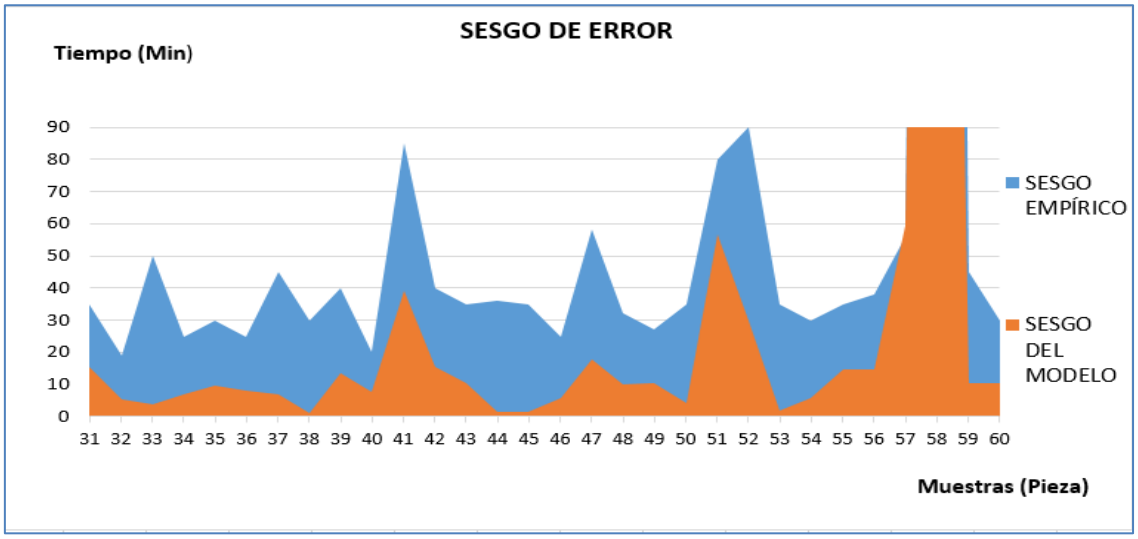


Figura 30: Comparativo del sesgo por estimador empírico y estimador modelado (2)
Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Mejorar la productividad puede ser abordado a través del estudio de tiempos y manejo de tiempos estándares (Giraldo, 2017), eliminar los cuellos de botella (Ponce, 2017), y/o identificando y eliminando los tiempos muertos (Delgado, 2015; Jiménez, 2017). Sin embargo, en procesos donde los productos son dimensionalmente distintos, el estudio de tiempos estándares no es la mejor opción, por ello en esta investigación se plantea el estudio factorial del proceso de metalizado, y se concluye con un análisis regresional múltiple que permita explicar con cierto grado de certeza el tiempo de proceso, para reducir el sesgo empírico, a esto comúnmente se le conoce como método de tiempos sintéticos. Otras de las estrategias vistas para mejorar la programación de las operaciones, son los modelos de optimización, algunos desde el enfoque de la materia prima (Espín & Jaramillo, 2018), otros desde las actividades que no agregan valor (Patermina & Rico, 2016), o de un análisis detallado de los tiempos y movimientos (Peñaranda, 2016)

Los factores que influyen en un proceso son diversos, parten desde el producto, los equipos y máquinas y los operarios. González, B., 2004, en su tesis "OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES ENVUELTAS EN EL MAQUINADO EN UN CENTRO DE MAQUINADO DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO", demostraron que existe una relación entre la temperatura y el acabado superficial de piezas en centro de mecanizado, por su parte Pérez, H., 2012, en su investigación INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LAS CONDICIONES DE MECANIZADO EN FRESADO PERIFÉRICO, refieren a la influencia de las variaciones en los elementos de mecanizado; es decir el equipamiento. También, tenemos la investigación de Salazar, M., 2017, donde establece los factores de operación del metalizado propiamente dicho, los cuales están bastante relacionados a

los que hemos incluido en este estudio, salvo el granallado y las variables de operación de la máquina.

CONCLUSIONES

Conclusiones respecto a la hipótesis específica 1

Existe un grado de relación de Pearson de 0,447 entre el tiempo total del metalizado y el área de trabajo, ofreciendo además un grado de significancia igual 0,013, lo que permite rechazar la hipótesis nula que indica que no hay relación entre la variable área de trabajo y el tiempo de metalizado, y dar por aceptada la hipótesis alternativa que indica que sí hay una relación entre la variable área de trabajo y tiempo de metalizado.

Conclusiones respecto a la hipótesis específica 2

Existe un grado de relación de Pearson de 0,020 entre el tiempo total de metalizado y el grado de suciedad, ofreciendo además un grado de significancia igual 0.117, lo que permite aceptar la hipótesis nula que establece que no existe relación entre la variable grado de suciedad y el tiempo de metalizado, y dar por rechazada la hipótesis alternativa que establece que sí existe una relación entre la variable grado de suciedad y tiempo de metalizado

Conclusiones respecto a la hipótesis específica 3

Existe un grado de relación de Pearson de 0,136 entre el tiempo total de metalizado y la temperatura promedio, ofreciendo además un grado de significancia igual 0.473, lo que permite aceptar la hipótesis nula que establece que no existe relación entre la variable temperatura promedio y el tiempo de metalizado, y dar por rechazada la hipótesis alternativa que establece que sí existe una relación entre la variable temperatura promedio y tiempo total de metalizado.

Conclusiones respecto a la hipótesis específica 4

Existe un grado de relación de 0,583 entre el tiempo de metalizado y el número de

pasadas, ofreciendo además un grado de significancia igual 0.001, lo que permite rechazar la hipótesis nula que establece que no existe relación entre la variable número de pasadas y el tiempo de metalizado, y dar por aceptada la hipótesis alternativa que establece que sì existe una relación entre la variable número de pasadas y tiempo de metalizado

Conclusiones respecto a la hipótesis general

El grado de significancia presentado en la tabla ANOVA, es de 0,000, lo que permite rechazar la hipótesis nula que establece que el grado de suciedad, área de trabajo, número de pasadas y temperatura de calentamiento, no tienen relación ni responden linealmente al tiempo de metalizado, y dar por aceptada la hipótesis alternativa que establece que el grado de suciedad, área de trabajo, número de pasadas y temperatura de calentamiento, sí tienen relación y además responden linealmente al tiempo de metalizado, además de contar con un alto grado de relación igual a 0.827.

Una aportación importante ha sido la realización del proceso de clusterización, cuyo resultado nos muestra similitudes o características en común de las piezas o componentes, dichas piezas han sido parte del muestreo, asimismo estas pasaron por el proceso de metalizado, los resultados se pueden visualizar en el anexo 03.

RECOMENDACIONES

Las evidencias respecto a la relación que existe entre las variables estudiadas: área a recuperar; número de pasadas; grado de suciedad y temperatura media de calentamiento, con el tiempo de metalizado, se explica con un nivel del 0.827. Lo que nos permite pensar que un segundo paso de estudio sería establecer modelos de programación de trabajos, que permitan aprovechar la utilización el equipo, previo a un diagnóstico de cuello de botella y balance de línea.

Asimismo, sería oportuno, realizar un análisis diagnóstico de tiempos muertos que podría estar generando la dispersión todavía existente, este tipo de tiempos muertos puede ser estudiado a través de la definición de 8 desperdicios que propone la metodología Lena, y a través de diagramas de Pareto e Ishikawa, encontrar las causales básicas y sugerir las remediales, que favorezcan la reducción de los tiempos muertos. Es regular que se puedan utilizar, técnicas como las 5S, cambio rápido, estandarización de procesos, entre otros.

En la investigación se ha identificado que si bien las variables: grado de suciedad y temperatura media, tienen una baja relación matemática, estas en grupo, permiten una explicación con mayor R^2 que cuando se les omite. Asimismo, dentro de los tiempos de procesamiento, sería oportuno en otra oportunidad incluir los tiempos y variables del granallado.

Finalmente se recomienda, completar los estudios explicativos, con estudios de relación de variables de proceso del equipo de metalizado como son: velocidad de aporte, amperaje, velocidad de avance del carro, voltaje y potencia del equipo. Pues, además ofrecerán un soporte a la estandarización ya indicada, y a brindará un gran paso previo a homologar los procesos.

REFERENCIAS

Arapa, S. M. (2017). *Mejora de procesos para incrementar la productividad en la elaboración de prendas de vestir en Creaciones Nachito, Ate, 2017.* Lima, Perú: Tesis para obtener el título profesional de: ingeniera industrial.

B., R. (2014). *Administración de Operaciones* (13a ed.). McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de http://www.ebooks7-24.com

Canales, C. (2006). *Metodologías de investigación social* (1° ed.). Santiago: Lom Ediciones.

Curillo, M. R. (2014). *Análisis y propuesta de mejoramiento de la productividad de la fábrica artesanal de hornos Industriales FACOPA.* Cuenca.

Espín, H. A., & Jaramillo, E. R. (2018). *Optimización de procesos para la empresa de reciclaje "Plásticos Navarrete" de la ciudad de Latacunga.* Latacunga, Ecuador.

Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación. (6a. Ed.) México:* (6a ed.). México: McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de http://www.ebooks7-24.com.

Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación.* McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de http://www.ebooks7-24.com.

Jablonsky, J., & Skocdopolova, V. (2017). *Análisis y Optimización del Proceso de Producción en una Empresa Procesadora de Leche.* Praga, República Checa: Facultad de Informática y Estadística.

Lind, D. (2015). *Estadística aplicada a los negocios y a la economía* (16a ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Montoya, L. A. (2015). *Optimización de los procesos en el área de mantenimiento para mejorar la productividad de una planta productora de Cemento Portland.* Arequipa, Perú: Universidad Católica De Santa María.

Morales, R & Rodríguez, L (2016). *Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall y Spearman.* Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". (UCLA) Barquisimeto.

Ortiz, T., & Caicedo, A. J. (2014). *Programación óptima de la producción en una pequeña empresa de calzado – en Colombia* (Vol. XXXV). La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

Paternina, J. C., & Rico, C. J. (2016). *Optimización del proceso de producción de la empresa citadino tejidos.* Bogotá: Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central Ingeniería en Procesos Industriales Administración de Proyectos.

Peñaranda, J. D. (2016). *Optimización del proceso productivo de la empresa "SERVIOPTICA SAS".* BOGOTÁ D.C.: Escuela tecnológica instituto técnico central ingeniería en procesos industriales.

Rodríguez, C. W. (2017). *Modelo de optimización del proceso productivo en la empresa analítica mineral Services S.A.C. Arequipa, 2017.* Huancayo: Para optar el título profesional de: ingeniero industrial.

Rovira, J. (1990). *Diccionario Enciclopédico Ilustrado.* Colombia: Grupo Editorial Océano Uno.

Salazar Freire, M. (2017). *Diseño de la estación y selección de equipamiento para la Cabina de metalizado de turbinas hidráulicas de celec ep-Hidroagoyan.* Universidad técnica de Ambato-Ecuador. Para optar por el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.

Strickland, A., Janes, A., & Sutton, C. A. (2018). *Administración estratégica* (2a ed.). McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de http://www.ebooks7-24.com

USIL. (Guía de estilo Editorial USIL). *Guía para presentación de proyectos e informes de tesis USIL.*

Villanueva, L. M. (2016). *Propuesta de optimización de recursos involucrados en el mantenimiento de equipos para mejorar la productividad de la operación Ferreyros - las Bambas.* Arequipa, Perú: Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Industrial.

Anexo 01. Reporte de Calibración de los instrumentos utilizados.

CCI	BASE DE DATOS DE INSTRUMENTOS DE MEDICION			CCI INVERSIONES CCI S.A
	Clasificación	Elaborado por	Aprobado por	Emisión
	CONTROL DE CALIDAD METROLOGIA	JOSELITO MENDOZA	ORIEL BASTIDAS	2/01/2014

AREA	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	RANGO DE TRABAJO	UNIDAD	RESOLUCION	EXACTITUD	CRITICIDAD EN LA MEDICION	TIEMPO DE RESPUESTA	ESTADO	FECHA ÚLTIMA CALIBRACIÓN	FECHA PROXIMA CALIBRACIÓN	TIPO DE CONTROL
CONTROL DE CALIDAD	Termometro IR Fluke 62 MAX+	FLUKE	62 MAX+	EN60825	-30 - 500	°C	0.1	+/- 1.0% o +/- 1.0 °C	Crítico	300 ms	Liberado sin restriccion	--------	21/03/2020	calibracion externa anual
CONTROL DE CALIDAD	Termometro IR Fluke 62 MAX+	FLUKE	62 MAX+	EN60825	-30 - 500	°C	0.1	+/- 1.0% o +/- 1.0 °C	Crítico	300 ms	Liberado sin restriccion	18/03/2019	18/03/2020	calibracion externa anual
CONTROL DE CALIDAD	Termometro IR Fluke 62 MAX+	FLUKE	62 MAX+	EN60825	-30 - 500	°C	0.1	+/- 1.0% o +/- 1.0 °C	Crítico	300 ms	Liberado sin restriccion	25/03/2019	25/03/2020	calibracion externa anual
CONTROL DE CALIDAD	Termometro IR Fluke 62 MAX+	FLUKE	62 MAX+	EN60825	-30 - 500	°C	0.1	+/- 1.0% o +/- 1.0 °C	Crítico	300 ms	Liberado sin restriccion	31/03/2019	31/03/2020	calibracion externa anual
CONTROL DE CALIDAD	Termometro digital infrarrojo	ARMOTEC	SRG1350	2651047	-30 - 1350	°C	0.1	+/- 5% o +/- 5 °C	Crítico	500 ms	Liberado sin restriccion	--------	09/09/2019	calibracion externa anual
CONTROL DE CALIDAD	Termometro IR Fluke 62 MAX+	FLUKE	62 MAX+	EN60825	-30 - 500	°C	0.1	+/- 1.0% o +/- 1.0 °C	Crítico	300 ms	Liberado sin restriccion	04/04/2019	04/04/2020	calibracion externa anual
CONTROL DE CALIDAD	Termometro digital infrarrojo	ARMOTEC	SRG1350	2651047	-30 - 1350	°C	0.1	+/- 5% o +/- 5 °C	Crítico	500 ms	Liberado sin restriccion	04/09/2019	04/09/2020	calibracion externa anual
CONTROL DE CALIDAD	Termometro IR Fluke 62 MAX+	FLUKE	62 MAX+	EN60825	-30 - 500	°C	0.1	+/- 1.0% o +/- 1.0 °C	Crítico	300 ms	Liberado sin restriccion	02/04/2019	02/04/2020	calibracion externa anual

Anexo 02. Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Metodología
Problema General ¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico? **Problemas Específicos** ¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico? ¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánico? ¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico? ¿Cuál es la relación entre el tiempo del proceso metalizado y total de pasadas, en una empresa del sector metalmecánico?	**Objetivo General** Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico. **Objetivos Específicos** Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico. Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánico. Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico. Cuantificar la relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el total de pasadas, en una empresa del sector metalmecánico.	**Hipótesis General** Ha: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico. Ho: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y los factores de operación de las piezas metalizadas, en una empresa del sector metalmecánico. **Hipótesis Específicas** Ha1: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánica. Ho1: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el área superficial de trabajo de la pieza, en una empresa del sector metalmecánica. Ha2: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánica. Ho2: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y grado de suciedad, en una empresa del sector metalmecánica. Ha3: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico. Ho3: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y temperatura promedio de calentamiento de la pieza, en una empresa del sector metalmecánico. Ha4: Existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el total de pasadas, en una empresa del sector metalmecánico. Ho4: No existe una relación entre el tiempo del proceso de metalizado y el total de pasadas, en una empresa del sector metalmecánico.	**Dependiente:** Tiempo de operación del proceso de metalizado. **Independiente:** a. Área superficial de la pieza de trabajo. b. Grado de suciedad. c. Temperatura promedio de calentamiento de la pieza. d. Total de pasadas.	**Metodología:** Explicativo. **Paradigma:** Positivista. **Enfoque:** Cuantitativo. **Método:** No experimental.

Fuente: Elaboración propia.

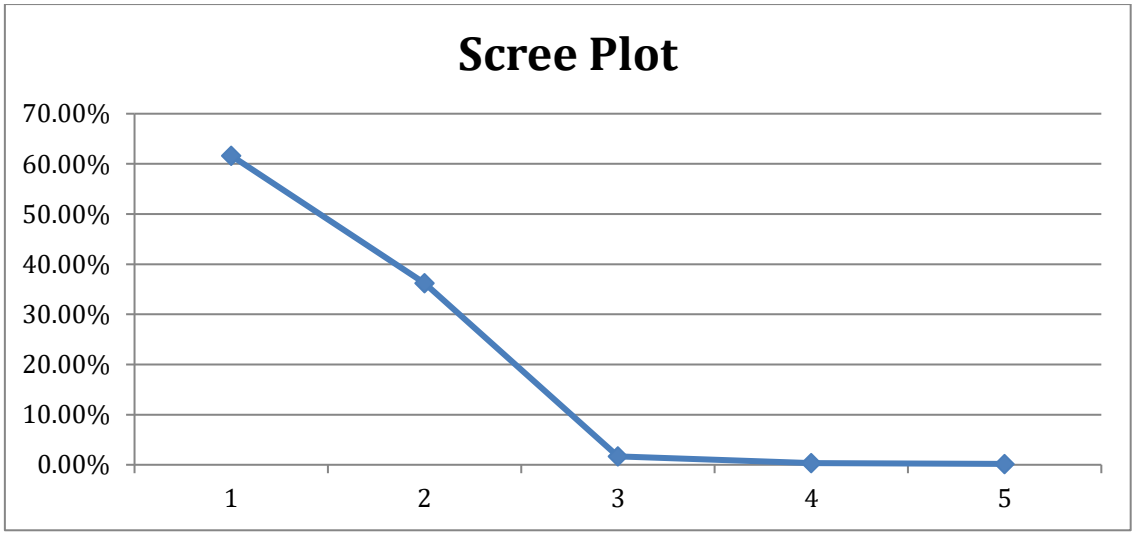
Anexo 03. Proceso de clusterización.

El proceso de clusterización inicia aplicando a las variables de proceso: área total, grado de suciedad; temperatura promedio; número de pases y tiempo real de metalizado, el análisis de componentes principales (ACP), para ello se normalizan todas las variables a través del parámetro = $(x - \mu) / \sigma$.

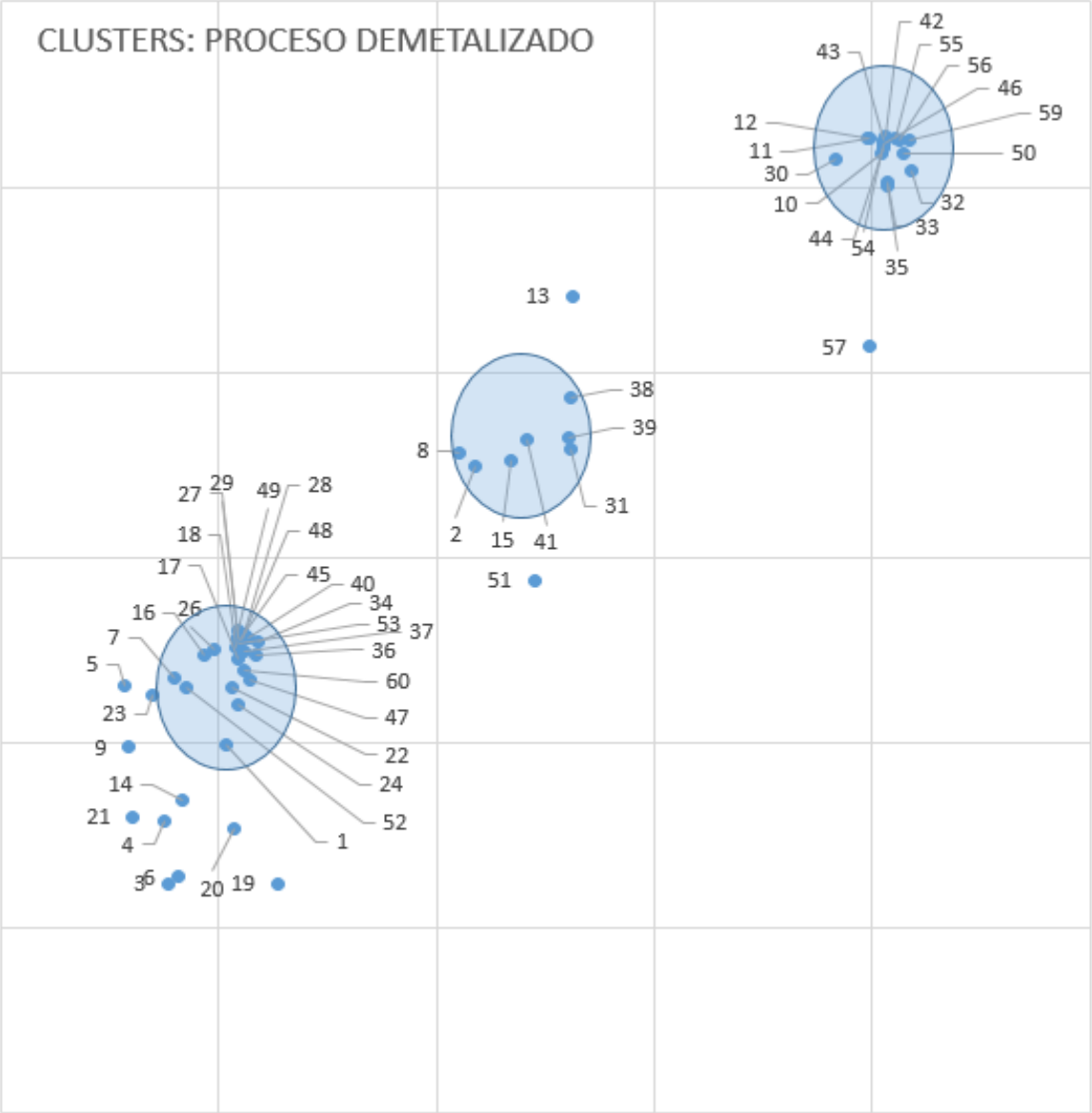
El resultado del ACP arroja los eigenvalores siguientes:

0.54185558	0.19625404	0.47562551	-0.65950445	-0.08192154
-0.26951637	0.65259477	-0.05366231	0.02173003	-0.70578265
-0.26668302	0.65419861	0.12220621	-0.02284786	0.69674096
0.54217375	0.20576975	0.32794248	0.74552555	-0.01875689
0.51834472	0.25551399	-0.80524537	-0.09083676	0.09674671

Donde los dos primeros eigenvalores representan casi el 90% de los resultados,



Con estos valores se construyen las variables Y1, y Y2, y se trasladan a una gráfica de doble entrada, con la finalidad de identificar los clústeres.



Se observan 3 clúster:

El primero representado por los componentes:

12,11,30,10,44,54,35,33,32,43,42,55,56,46,59,50.

El segundo representado por los componentes: 8,2,15,41,31,39,38.

Y el tercero: 1,52,24,22,47,60,36,37,53,34,40,45,48,28,49,29,27,18,17,16,26,7,23.

Se observa por ejemplo entre el clúster superior representa a las piezas o componentes que tiene el mismo grado de suciedad 3 y temperatura promedio 250C°, para el clúster central del mismo representan aquellos que tienen grado de suciedad 2 y temperatura promedio de calentamiento 200C° y finalmente el clúster 3 representa a los que cuentan

con un grado de suciedad 1 y temperatura promedio 150C°.