



Análisis causa raíz en proceso de niquelado de parrillas de horno para incrementar su eficiencia

Root cause analysis in the nickel-plating process of oven grills to increase its efficiency

Análise de causa raiz no processo de niquelação de grelhas de forno para aumentar sua eficiência

 **José Francisco Maldonado Naranjo**

francisco.maldonadon@gmail.com

 **José Luis Colin Martínez**

jluiscmtz513@gmail.com

 **Teresa Muñoz García**

munozgteresa@gmail.com

Posgrado CIATEQ, A.C., México

ARTÍCULO INVESTIGACIÓN



Recibido: 13 de junio 2025 | Aceptado: 15 de enero 2026 | Publicado: 25 de enero 2026

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<http://doi.org/10.33996/revistaenfoques.v10i37.236>

Resumen

La presente investigación se desarrolló en el proceso de niquelado debido a que es un área que ayuda significativamente a la facturación de cierta compañía manufacturera y dado que sus indicadores de eficiencia no presentan los parámetros requeridos, la utilidad del proceso se ve mermada. Es necesario encontrar y corregir las áreas de oportunidad que el proceso presente y buscar la manera de revertir esta situación para que el producto final, en este caso parrillas, no tengan un sobre costo. En este proyecto se utiliza la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), la cual nos ayuda a desarrollar una prueba observar los resultados y ajustar el proceso para un mejor resultado. Este documento se enfoca en el análisis de causa raíz por la que los indicadores de eficiencia del proceso de niquelado se encuentran fuera de objetivo. Debemos aclarar que este proyecto se desarrolla en un proceso existente, por lo que, el objetivo de incrementar la eficiencia del proceso es para aumentar su capacidad de producción. En la estrategia de causa raíz se utilizan herramientas que analizan de manera integral el proceso, pues esta herramienta divide en seis categorías las posibles causas de error. Como resultado, con este análisis se identificaron equipos obsoletos que afectan directamente a la calidad de las parrillas de horno, información no actualizada en el plan de control del proceso y en su documentación de calidad, mismos que se corrigieron e integraron equipos nuevos que mejoraron el proceso y permitieron el incremento de capacidad.

Palabras clave: Análisis; Causa Raíz; Eficiencia; Indicador; Niquelado; Parrillas

Abstract

This research was developed in the nickel-plating process because this is an important area for the company's billing and due to this area doesn't present the required parameters of efficiency, the process profit is affected. Is necessary find an correct the area of improvement that this process have and search the way to change this situation so that the final product, in this case grills, doesn't have a over cost. In this project is used the DMAIC (Define, Measure, Analise, Improve, Control) methodology, which help us to develop one test, watch the results and adjust the process for a better result. This document is focus on the analysis of root cause for the efficiency indicators of the nickel-plating process are off target. We must clarify that this project is developed in a existent process in a some existent manufacture company, for what, the objective of improve the efficiency of the process is for increase them production capacity. The root cause strategy uses tools that analyze all the process, this tool divide in six categories the possible error causes. How result, with this analysis identified obsolete equipment, that affect directly to the quality of the oven grills, it found information don't updated in the control plan process and errors in the quality documentation, all of this was corrected and was integrated new equipment that improve the process and could increase the capacity.

Keywords: Analysis; Efficiency; Grills; Indicator; Nickel plating; Root cause

Resumo

A presente pesquisa foi desenvolvida no processo de niquelação, visto que se trata de uma área que contribui significativamente para o faturamento de uma determinada empresa manufatureira e, considerando que seus indicadores de eficiência não apresentam os parâmetros requeridos, a rentabilidade do processo é afetada. Torna-se necessário identificar e corrigir as áreas de oportunidade presentes no processo, bem como buscar formas de reverter essa situação para que o produto final, neste caso as grelhas, não apresentem um custo adicional. Neste projeto utiliza-se a metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), que permite desenvolver testes, observar os resultados e ajustar o processo para obter melhores resultados. Este documento concentra-se na análise de causa raiz pela qual os indicadores de eficiência do processo de niquelação se encontram fora da meta. É importante destacar que este projeto é desenvolvido em um processo já existente; portanto, o objetivo de incrementar a eficiência do processo é aumentar sua capacidade de produção. Na estratégia de análise de causa raiz são utilizadas ferramentas que analisam o processo de forma integral, pois essa abordagem divide as possíveis causas de erro em seis categorias. Como resultado, por meio dessa análise foram identificados equipamentos obsoletos que afetam diretamente a qualidade das grelhas de forno, bem como informações desatualizadas no plano de controle do processo e em sua documentação de qualidade. Esses aspectos foram corrigidos e foram integrados novos equipamentos que melhoraram o processo e permitiram o aumento da capacidade.

Palavras-chave: Análise; Causa raiz; Eficiência; Indicador; Niquelação; Grelhas.

INTRODUCCIÓN

El proceso de niquelado en esta compañía manufacturera, tiene por lo menos cinco años con dificultad para alcanzar el objetivo establecido en los indicadores de OEE, scrap o espesor de níquel en las parrillas que produce. De este periodo con baja eficiencia, se tiene datos a partir del año 2021.

Durante dicho periodo, el equipo de ingenieros que trabaja en la línea de níquel ha concentrado sus esfuerzos implementado proyectos para reforzar o cambiar los químicos que se integran en las soluciones que contiene cada tina del proceso, desde la limpieza hasta el brillo. Pero los resultados de estos proyectos no han sido sostenibles a través del tiempo y han tenido poco impacto en la mejora de la eficiencia del proceso, lo cual, no ha sido suficiente para mejorar los indicadores de la línea, si han ayudado a producir la demanda requerida por el cliente, pero echando mano de horas extra, lo que significa que no es un beneficio integral y por consecuencia producir la parrilla resulta más costoso y la utilidad de este producto se reduce.

La baja eficiencia del proceso impacta de manera importante en el ritmo, la capacidad y volumen de producción de la línea de níquel, lo cual representa pérdidas económicas importantes por no calidad, como son, scrap, sobre costo de partes producidas, reproceso, pago de tiempo extra, pago de plantilla adicional a la necesaria. Adicional a estos puntos, la falta de eficiencia en el proceso limita la capacidad de producción ya

que actualmente algunos equipos y sub procesos operan a su máximo rendimiento y capacidad, pero aun así no entregan los resultados esperados.

La industria es un sector con mucha competencia, motivo por el cual tener procesos ineficientes es una amenaza pues las compañías limitan su capacidad para lanzar costos competitivos en los productos que ofrece en el mercado. Como menciona Morales E., Pérez M. Ramírez L. y Ramírez S. (2025). “la implementación de acciones de mejora, permite reducir o eliminar paros no programados y maximizar la eficiencia del proceso, lo que permite a la empresa cumplir con su producción planeada y evitar pérdidas” (p. 168).

Para esta investigación, el cliente de esta compañía califica el volumen de entrega, entregas a tiempo y los hallazgos de calidad de las parrillas de horno. El resultado de esa calificación es el nivel de aceptación o confiabilidad que tiene cada uno de los proveedores (Verde: confiable, Amarillo: Requiere soporte, Rojo: No Confiable), en este sentido, se ha tenido resultados en color amarillo durante los últimos cinco años, lo que significa que el proceso de producción no es eficiente y se deben considerar proveedores alternos que ayuden al cliente a cubrir la demanda de producción requerida. Cabe señalar que el cliente de esta compañía requiere un volumen de parrillas tan grande, que requiere dos proveedores para que su operación no se ve afectada. Estos proveedores se dividen el volumen 60% para la planta de fabricación donde se lleva esta investigación y el 40% restante a un proveedor

alternativo.

De manera interna, tener una capacidad de producción limitada y un proceso ineficiente, evita que se puedan producir las piezas que en este momento son fabricadas con proveedores ajenos a la compañía, mejorando esta condición, dicho volumen puede fabricarse con un solo proveedor saturando de manera positiva sus procesos y aumentando su utilidad.

Encontrar y eliminar la causa raíz por la que los objetivos están fuera de objetivo y/o especificación, como lo menciona Carolina Altman (2006) “no sólo se aumenta la confiabilidad, la seguridad y por lo tanto la disponibilidad, sino también se aumenta la eficiencia y productividad de operaciones y de la empresa, al mismo tiempo que se disminuyen los costos de Mantenimiento” (p. 1).

El alcance de este proyecto es identificar las causas por las que el proceso de niquelado no consigue los indicadores de calidad que se tienen definidos por planta y encontrar la manera para que estos lleguen al objetivo de planta. Estas causas podrán ser el remplazo o reparación de algún equipo, pero se limita al presupuesto que se tiene definido (\$150,000 USD). De igual forma, el alcance del proyecto incluye la modificación y actualización de la documentación que indica el funcionamiento del proceso de niquelado, desde su fabricación, hasta su empaque.

El objetivo del proyecto es desarrollar un análisis del proceso que incluya el uso de herramientas de mejora continua para encontrar

la razón por la que los KPIs de eficiencia están por debajo de lo esperado en el área de niquelado y llevarlos a los siguientes parámetros mensuales: OEE 85%, Scrap menos del 1% (medido semanalmente vs producción), 7 micras en el espesor de las parrillas. Una vez alcanzado el objetivo, se planteó un objetivo específico y es generar un plan de control que se ajuste a los cambios que se desarrollen en la línea y que permita asegurar el ritmo de producción sin afectar la calidad del producto.

Se plantea utilizar herramientas de mejora continua porque como lo dice García M., Quispe C. y Raéz L. (2003) “en las organizaciones sin gestión de mejora Continua el volumen de la ineficiencia puede estar entre un 15 y 25 % de sus ventas, las que si la hacen, oscila entre 4 y 6%” (p.91).

El proceso de niquelado es un proceso de galvanoplastia o electrodeposición que implica la reducción del níquel y la deposición del níquel reducido en la superficie de la pieza metálica a través de la aplicación de electricidad. García C., Tene A., Burgos K. y Zambrano C. (2018), dicen que este proceso “es una técnica electroquímica de gran interés en el tratamiento de metales, permitiendo recubrir, proteger o decorar diferentes materiales” (p. 81). Hernández y Gallegos (2015), aseguran que “el empleo de ánodos de níquel permite mantener una concentración constante de Níquel en la solución electrolítica, esto debido a que, en el transcurso de la reacción, el ánodo se va disolviendo generando iones de níquel” (p. 5). Al aplicarles corriente eléctrica, estos se depositarán en la superficie

deseada. La solución electrolítica de níquel proporciona la conductividad necesaria para que la corriente eléctrica pueda circular entre ánodo y cátodo.

El Nickel Institute (2022), dice que “el espesor requerido en cualquier punto de la superficie depende principalmente de la densidad de corriente en ese punto” (p. 12). Para que el proceso entregue los resultados establecidos en la superficie deseada (7 micras de espesor), es importante tomar en cuenta la corriente aplicada en el proceso.

En este proceso, el níquel se deposita sobre alambre de acero al carbón calibre 11, con el cual se fabrican las parrillas de horno que se integran en estufas. Este proceso se desarrolla con veinticinco tinas de diez metros cúbicos de capacidad.

El proceso de niquelado tiene tres etapas generales, la limpieza mediante desengrases (por inmersión y electrolítico), enjuague y decapado. Acabado superficial (Niquelado y sello orgánico) y por último el secado de la pieza.

El proceso de niquelado en esta compañía se desarrolla en cargas de parrillas, cada carga con 72 piezas y divididas en 3 racks cada uno con capacidad de 24 parrillas.

Para desarrollar esta investigación se utilizarán herramientas como el diagrama de causa – efecto, el cual sirve para ayudar a los equipos a tener una concepción común del problema, con todos sus elementos y relaciones a

cualquier nivel de detalle requerido. Como lo menciona Molina, Ortega, Heradia y Rivera (2023) “Se definieron las categorías a aplicar en este caso las 6M, mantenimiento, métodos, materiales, medio ambiente, maquinaria y mano de obra” (p. 67).

Una actividad importante para esta investigación es la tormenta de ideas, que, como lo mencionan Caeiro M. & Fernández M. (2020), “es una herramienta de trabajo grupal que facilita la generación de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado” (p. 6). Para mantener el control de esta herramienta, debe haber un moderador que es quien ayuda a llevar el tiempo definido en la agenda y es quien se encarga de que no se pierda el objetivo de la sesión o no se genere ninguna discusión.

Para evaluar el proceso de niquelado y el éxito de esta investigación, se usarán indicadores de eficiencia, que según mencionan Becerra L., Herrera J., Morris L., & Toro A. (2024), “son medidas cuantitativas que permiten evaluar el desempeño de la empresa en distintos aspectos, como la eficiencia, los costos, la productividad, los ingresos, el rendimiento, el tiempo y la seguridad” (p. 47).

El indicador clave para medir el rendimiento del proceso es el OEE (Eficiencia General de los Equipo), Morris, L., Salazar, O., & López, A. (2025) menciona que “es un indicador que involucra la disponibilidad, el desempeño y la calidad” (p. 68). La ventaja del OEE frente a otros indicadores es que mide, en un único indicador, todos los

parámetros fundamentales en la producción industrial.

El OEE se calcula al multiplicar tres factores: disponibilidad, productividad y calidad, por lo tanto, la ecuación se ve de la siguiente manera:

$$\% \text{ OEE} = (\% \text{ disponibilidad}) * (\% \text{ productividad}) * (\% \text{ Calidad})$$

González A. (2009) establece que “el valor del OEE permite clasificar una o más líneas de

producción, o toda una planta, con respecto a las mejoras de su clase y que ya hayan alcanzado el nivel de excelencia” (p. 7).

Por otro lado, Narro J. & Valverde R. (2020) mencionan que “OEE es la métrica para complementar los requerimientos de calidad y de mejora continua exigidos por la certificación ISO 9000:2000” (p.32). La clasificación de OEE se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. *OEE de clase mundial*

OEE	Calificación	Consecuencia
75%<OEE<85%	Aceptable	Competitividad ligeramente baja
85%<OEE<95%	Buena	Entra en valores world class. Buena competitividad
OEE>95%	Excelencia	Valores world class. Excelente competitividad

Narro J. & Valverde R. (2020)

Como lo menciona Arguelles, J., Pineda Z. & Cruz C. (2021), “asegurar la mejora continua tiende a favorecer la optimización de los costos y el incremento de la productividad, desafortunadamente en algunos casos esto se logra a costa de la calidad del producto” (p. 13). Es por esto que seguir una estrategia de análisis integral en una problemática definida, como el

método de causa raíz, incrementa la probabilidad de existir y solución de la misma, ya que esta herramienta se desarrolla con un equipo de expertos que cubren todas las aristas del problema, sin dejar de lado áreas que se ven desconectadas o con poca relación en el proceso de manufactura.

MÉTODO

La investigación desarrollada en este documento será explicativa pues como describen Guevara G., Verdesoto A. y Castro N. (2020) “es aquella que tiene relación causal, no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta precisar las causas del mismo” (p. 165). Esto es entender la causa raíz de los indicadores fuera de especificación en el proceso de niquelado.

La presente investigación desarrollará una metodología basada principalmente en seis sigmas DMAIC: Define (Definir), Measure (Medir), Analyze (Analizar), Improve (Mejorar), Control (Controlar). Esta metodología es implementada porque, como menciona Navarro E., Gisbert V. & Pérez A. (2017) “Su objetivo de aumentar la capacidad de los procesos, de tal forma que estos generen los mínimos defectos por millón de unidades producidas. Estos defectos deben ser imperceptibles para el cliente” (p. 76).

La metodología DMAIC ya se usa dentro de la compañía para resolver los problemas de calidad que se generan en los procesos de fabricación. Como bien comenta Juárez (2018), la metodología DMAIC “es un instrumento para la resolución de problemas, cuyo objetivo primordial es lograr una elevada satisfacción en los clientes. Su enfoque consiste en disminuir la variación de los resultados de los procesos y en mejorar continuamente los mismos” (p. 25). Por lo tanto, a través de datos obtenidos del proceso podremos encontrar patrones que nos indiquen o

permitan identificar las áreas de oportunidad tanto del proceso como de los equipos que intervienen en él.

Para el análisis de esta investigación se utilizará una estrategia señalada en la norma ISO 31010: Gestión Riesgos oportunidades, análisis de causa raíz. Se definió utilizar esta estrategia porque, como menciona la norma ISO 31010 (2013), “este análisis intenta identificar las causas raíz u originales en vez de tratar únicamente los síntomas inmediatamente obvios” (p. 46). Por lo tanto, con esta herramienta buscaremos áreas de oportunidad en el proceso, su impacto y tratamiento. De esta metodología se usan las siguientes herramientas: Análisis de causa raíz, revisión de datos históricos, definición de factores internos y externos, identificación de interesados, diagrama causa – efecto, ¿5 porqués?

Como lo señala la norma ISO 31000 (2018), “la organización debería analizar y comprender sus contextos externo e interno cuando diseñe el marco de referencia para gestionar el riesgo” (p. 6).

Es necesario entender que el proceso de niquelado de esta investigación produce diecisiete diferentes modelos de parrillas, los cuales representan un volumen de producción de 4,411,904 de parrillas anuales. Este volumen de producción se fabrica en 3 turnos de lunes a sábado con una plantilla de 6 colaboradores operando la línea. El proceso se desarrolla en cargas de parrillas, cada carga con 72 piezas las cuales recorren la línea.

Actualmente este proceso produce piezas con menos de 7 micras de espesor de níquel, con un OEE abajo del 80% y más de 5% de scrap (esto medido contra el volumen producido semanalmente).

La metodología seleccionada la comenzamos con la etapa de definición. Como parte del contexto del proyecto se definen los factores externos e internos de la organización, los cuales

impactan al proyecto y como menciona Trejo, R. Sánchez A., Pérez J., Moreno Z. & González B. (2023) “el enfoque de esta investigación implica una comprensión profunda y detallada de los fenómenos sociales en este caso de la situación actual de la empresa.” (p. 8466). Esto para definir el objetivo, las limitaciones del proyecto, restricciones por normativas o por recursos. Estos factores se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. *Definición de factores externos e internos*

Factores Externos	Factores Internos
Factores económicos. Para mantener presencia en el mercado se deben tener costos competitivos. Por lo tanto, ser eficiente es indispensable.	Factores de desempeño global de la organización. Por estrategia corporativa se requiere que incremento de volumen de producción
Factores políticos. El cambio de gobierno genera incertidumbre en los mercados internacionales	Factores de recursos. Para alcanzar la estrategia corporativa, evaluar los equipos que intervienen el proceso
Factores tecnológicos Para incrementar la eficiencia se debe mantener condiciones para que los equipo operen de manera adecuada	Factores aspectos humanos. Automatizar procesos
Factores de mercado. La competencia que tiene la compañía sobre las parrillas de horno es muy fuerte y se están presentando costos en el mercado que, con las condiciones actuales, es complicado alcanzar.	Factores operacionales. Procesos con baja eficiencia incrementa costos por retrabajos
Factores legales y reglamentarios. Las descargas de aguas residuales deben pasar por la PTAR, las soluciones deben mantenerse estándares que solicita CONAGUA.	

Como siguiente actividad, se identifican las partes interesadas, con este ejercicio se identifican aliados en el proyecto, pues como señala el PMBOK 6ta edición “algunos interesados pueden tener una capacidad limitada para influir en el trabajo o los resultados del proyecto; otros

pueden tener una influencia significativa sobre el mismo y sobre sus resultados esperados” (p. 504).

La tabla 3 muestra más información de los interesados del proyecto.

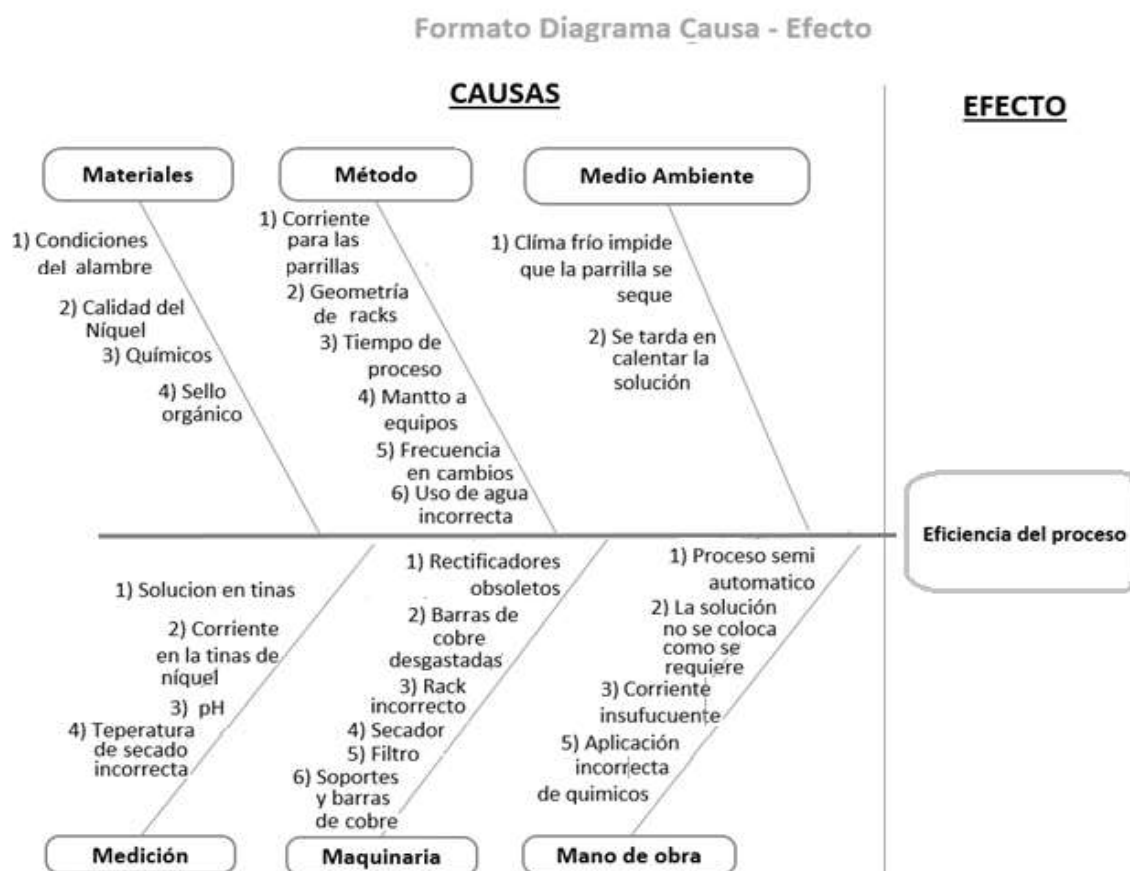
Tabla 3. Rol de interesados

Parte interesada	Requisitos: necesidades y expectativas	Cumplimiento / Expectativas
Super intendente	Incrementar la eficiencia del proceso	Cumplir con los estándares de calidad
Líder de Producción	Mejorar Scrap, OEE, Espesor	Cumplir con OEE 85%, scrap <1%, espesor >7uM
Ingeniero Manufactura	Identificar equipos con áreas de oportunidad	Identificar equipos y encontrar repuestos
Ingeniero Calidad	Identificar la causa raíz que provoca el scrap	Eliminar causas que generan scrap
Gerente Materiales	Incrementar la eficiencia del proceso	Traer negocio a la compañía

Con el contexto y las partes interesadas definidas, el siguiente movimiento es hacer el análisis de causa raíz. Para esta actividad se despliega un taller de trabajo, el cual estaba integrado por un integrante de cada departamento de la planta (calidad, manufactura, mantenimiento, flujo de materiales, compras, laboratorio químico), esto para revisar como es que afecta el problema en cada una de las áreas y ver el problema de manera integral. Cada integrante del equipo es dueño de su tramo de

control, pero en conjunto se observan todas las aristas del problema y con ello se busca definir una solución que aminore las afectaciones en todas las áreas. De esta manera se soluciona un problema de manera general y incluyendo las afectaciones que cada área presenta.

Una vez formado el equipo, se desarrolla una tormenta de ideas, las cuales se plasman en un diagrama Ishikawa, figura 1.

Figura 1. Diagrama Ishikawa


Una vez desarrollado el diagrama causa y efecto, se desarrolla una caminata Gemba, que como menciona Miño G., Moyano J. y García A. (2017) “es el lugar de trabajo donde se encuentra localizada la maquinaria, el área o lugar de trabajo donde se desarrollan las diferentes actividades de transformación, tanto de bienes como de servicios” (p. 86). Esta caminata fue esencial pues con ella se pudo hacer el recorrido siguiendo un orden SIPOC: Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes (por sus siglas en inglés). Como menciona González H. y Escobar C. SIPOC “es la representación gráfica de un proceso de gestión que permite entender e identificar los elementos importantes en un proceso”. Esta técnica dará orden al recorrido, cubrirá toda la cadena de valor

y podremos confirmar si las causas que enlistamos en el diagrama, son las que están afectando al proceso o si es necesario agregar alguna más.

Luego de la caminata se confirmaron equipos con áreas de oportunidad que están plasmados en el diagrama Ishikawa. De estas ideas se tomaron cuatro puntos que se definieron como prioritarios, esto compartido por la experiencia de ciertos integrantes del equipo que tienen actividades diarias en el proceso. Para identificar la causa raíz se aplica la herramienta 5 porqués que se muestra en la figura 2 y que como menciona Baro M., Estrada M. y García I. (2016) “A partir del diagrama de Ishikawa se aplican 5 Po qué, la cual es una técnica que ayuda a identificar las causas principales más probables de un problema” (p. 57).

Figura 2. 5 Porqués?

	Posible Causa	¿Porqué 1?	¿Porqué 2?	¿Porqué 3?	¿Porqué 4?	¿Porqué 5?	Acciones preventivas
Descripción: ¿Por qué es baja la eficiencia del proceso?	Corriente eléctrica	¿Por qué la corriente afecta el proceso? Porque se requieren 3.4kA y no se aplican	¿Por qué no se aplican? Porque el rectificador no alcanza esa corriente	¿Por qué el rectificador no alcanza la corriente? Porque no tiene esa capacidad	¿Por qué el rectificador no tiene esa capacidad? Porque ya es obsoleto		Cambio de los 3 rectificadores. Equipos con capacidad adecuada
	Circulación de corriente eléctrica en soportes V	¿Por qué la corriente afecta el proceso? Porque se requieren 3.4kA y no se aplican	¿Por qué no se aplican? Porque los soportes V generan arco eléctrico	¿Por qué los soportes generan arco eléctrico? Porque no están bien instalados	¿Por qué están mal instalados? Porque presentan desgaste en el soporte y la		Cambiar los soportes V / bases
	Circulación de corriente eléctrica en barras de cobre	¿Por qué la corriente afecta el proceso? Porque se requieren 3.4kA y no se aplican	¿Por qué no se aplican? Porque los puntos de contacto de las barras de cobre presentan sarro	¿Por qué presentan sarro? Por el ambiente húmedo del área y falta de	¿Por qué no se tiene un plan de limpieza? Porque no se pide en el plan de control	¿Por qué no se pide en el plan de control? Porque no está la actividad	Agregar al plan de control la actividad de limpieza de puntos de contacto de barras de cobre
	Piezas húmedas	¿Por qué las piezas salen húmedas? Porque la temperatura no es suficiente	¿Por qué no es suficiente la temperatura? Porque no se aplica suficiente vapor	¿Por qué no se aplica suficiente vapor? Porque el equipo tiene fuga de condensados	¿Por qué el equipo tiene fuga? Porque está roto		Reemplazar el radiador de la tina de secado

Para la siguiente etapa, la etapa “Medir”, se van a tomar los datos históricos de los parámetros OEE, Scrap y espesor del proceso de niquelado de parrillas. Se inicia el proyecto con los indicadores de eficiencia: OEE < 80%, Scrap > 1%, Espesor <7 micras.

En la tercera etapa, “Analizar”, además de las ideas que se colocan en el diagrama 5 porqués y en el diagrama Ishikawa, se enlistan las causas más frecuentes de error en el proceso de niquelado. Luego de esto, se asigna un valor, que como menciona Muñoz D. y Cuadros A. (2016) “generalmente, tiene asociado una ocurrencia, severidad y probabilidad de ser detectado.

La metodología presenta una escala de evaluación de fallas para cada uno de los parámetros mencionados y un significado asociado a cada uno de estos números”. Asignar valores (de 0 a 100) a cada área de oportunidad nos servirá para priorizar las actividades a corregir y de esta manera definir un cronograma de actividades.

Como resultado de esta valoración se desarrolla la tabla 4:

Tabla 4. *Acciones para desarrollar*

Riesgo	Valoración	Acción
Parrillas opacas	81	Reemplazar rectificador, no alcanza la corriente que requerida
Parrilla húmeda	72	Reemplazar secador, presenta fuga
Parrilla áspera	70	Reemplazar las tuberías de PVC a CPVC para activar filtros
Soportes V con sarro	70	Cambiar soportes V, presentan sarro y. limitan la circulación de corriente eléctrica
Mala adhesión de níquel	56	Reforzar plan de control y especificar uso de agua correcta
Parrillas quemadas	56	Desarrollar plan de mantenimiento de racks
Parrillas opacas	49	Actualizar plan de control, hacer cambios por concentración y no por tiempo
Parrillas opacas	49	Incluir en planes de mantenimiento los equipos la línea
Parrillas quemadas	48	Desarrollar plan de mantenimiento de racks
Parrillas sombreadas	42	Definir diseño de rack de acuerdo a dimensiones
Brillo en parrilla	21	Asegurar cambio del sello orgánico en plan de control
Parrillas mal niqueladas	14	Agregar al plan de control la limpieza de puntos de contacto en los cobres

Para la etapa “Mejorar”, de acuerdo a la tabla de acciones a desarrollar, se cambiaron tres rectificadores obsoletos, los cuáles no suministraban la corriente necesaria para el proceso, pasando de 3500 A a 6000 A de capacidad. Se cambio el radiador de la cabina de secado el cual presentaba fuga, cambio de tubos de cobre a tubos de acero inoxidable. Se reemplazo la tubería existente de PVC por una de CPVC, permitiendo que los filtros se puedan activar. Se remplazaron los soportes de cobre pues los que se tenían presentaban exceso de sarro y limitan el flujo de corriente eléctrica. Se

actualiza el plan de control con las nuevas condiciones de los equipos.

En la etapa final “Controlar”, para que los resultados alcanzados en el proceso se mantengan a través del tiempo se consideran los siguientes cambios en el plan de control del proceso: Por el cambio de tubería de PVC a CPVC, el filtro ya puede quedar operando todo el turno y se debe considerar el cambio de filtro cada 6 meses. Se debe mantener la corriente inducida por el rectificador a 4769 A. Se debe limpiar las zonas de contacto de los cobres cada 6 meses. Se desarrolla un plan para mantenimiento de racks. Se debe

mantener la temperatura de la tina a 80 °C, con el nuevo radiador ya se alcanza la temperatura.

El plan de control del proceso, como lo mencionan Dextre J. y Del Pozo R. (2012), “es una función dinámica inmersa en las actividades, operaciones y procesos que realiza la administración. Su propósito es alertar, detectar y orientar la corrección de las desviaciones de planes” (p. 72). En este documento se definen las etapas del proceso de niquelado, las variables a medir y controlar y los tiempos de cada una de las etapas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

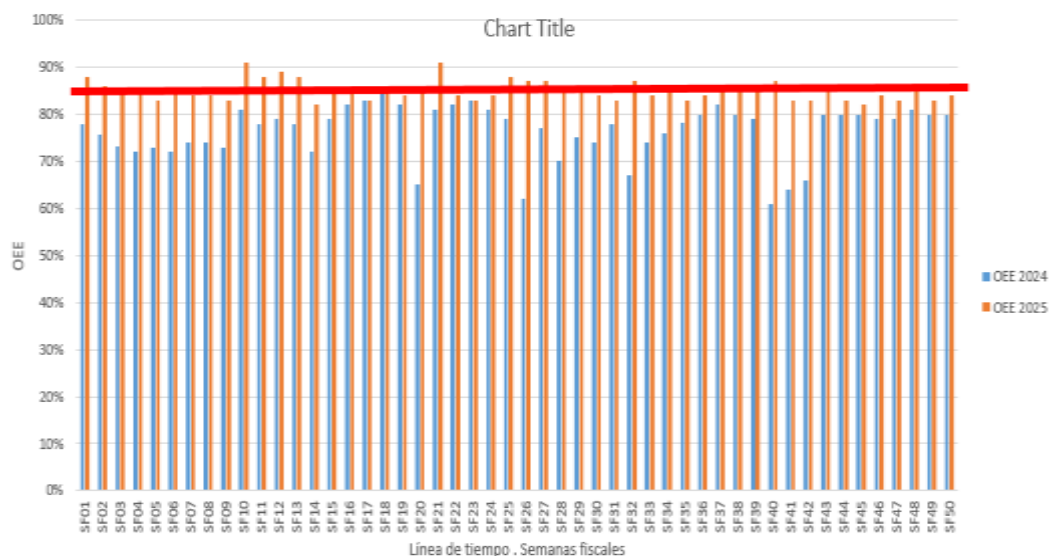
Los resultados alcanzados en el análisis de causa raíz se alinean con las acciones que se definieron en la herramienta 5 porqués. Con este análisis se encontró una causa que se evidencia en el proceso y es la aplicación de corriente. Con dicho análisis se encontró que la corriente necesaria para niquelar las piezas (4 kA) no se alcanza con los rectificadores actuales, estos apenas llegan a los 3.5 kA.

De igual forma, se encontró que el contacto entre equipos fabricados con cobre (rack, barras de cobre y soportes V) no es la correcta pues estos presentan sarro, lo que limita el contacto y circulación de corriente. También se encontró que los soportes V se encuentran en mal estado, limitando también, el flujo de corriente en el proceso.

Con los puntos definidos por el equipo de expertos en el diagrama Ishikawa se desarrollaron

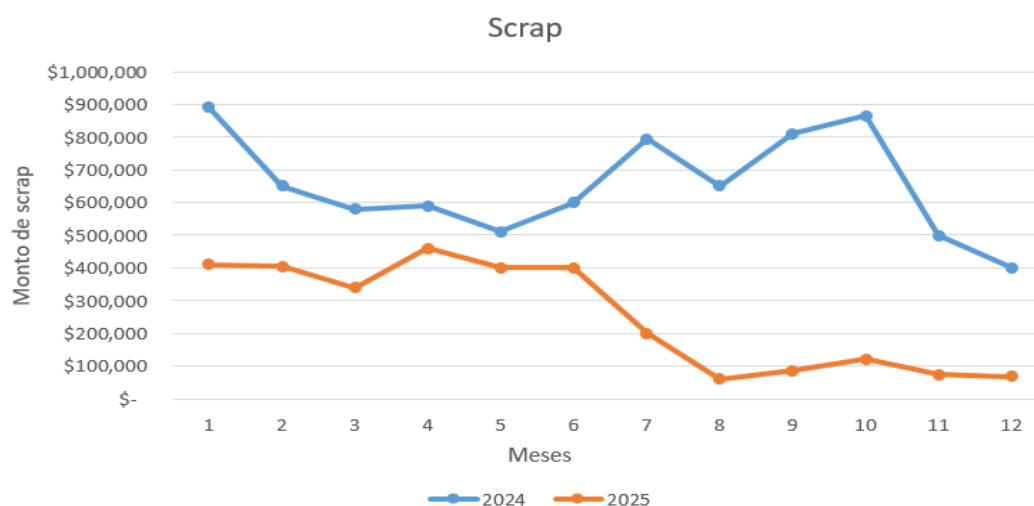
modificaciones en el proceso. Estos cambios desarrollados fueron dirigidos a mejorar, principalmente, la circulación de corriente eléctrica en el proceso, misma que es fundamental para que la deposición del níquel en las parrillas se pueda llevar a cabo. Dichos cambios fueron la actualización de soportes V, cambio de rectificadores, cambio de radiador y cambio en el plan de control para la limpieza de los puntos de contacto entre racks y barra de cobre.

Como resultado de los cambios desarrollados se pudieron alcanzar registros de OEE (Eficiencia global de los Equipos) superiores al 80%, esto medido semanalmente y comparado contra un 70% que en promedio se tenía antes de los cambios. El objetivo del proyecto era alcanzar un 85% en OEE mensual, lo que si sucedió con los resultados obtenidos. La figura 3 muestra la comparativa entre el OEE del año 2024 y el del 2025.

Figura 3. OEE 2024 vs 2025

Otro resultado positivo que se tuvo fue la tendencia a la baja del scrap, esto durante el año 2023 y 2024, disminuyendo hasta \$50,000 MXN semanales, comparados con años anteriores. Si

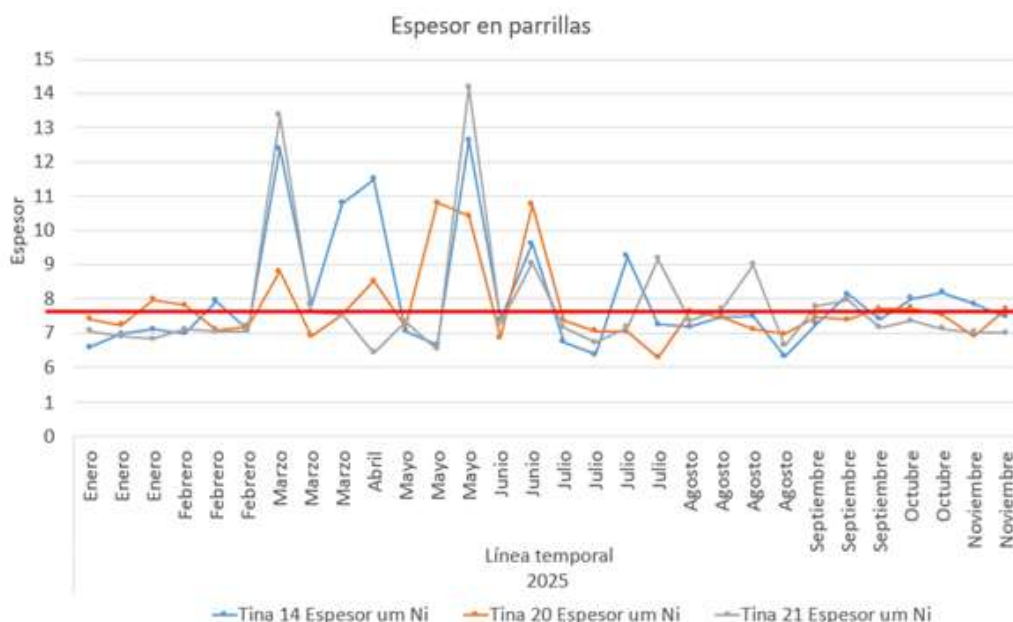
bien el objetivo del 1% no se logró en el año 2025, la tendencia ha ido a la baja, lo que es un resultado positivo y permite trabajar con el proyecto. Esto semuestran la figura 4.

Figura 4. Scrap 2024 vs 2025

Por otro lado, el espesor de las parrillas se mejoro en algunos meses, no fue consistente, pero hubo una mejora significativa pues los

resultados muestran que se ve más controlado el proceso con tendencia a mantener las 7 micras de espesor como se muestra en la siguiente figura 5

Figura 5. Espesor 2025



DISCUSIÓN

El análisis de causa raíz es una herramienta con mucho valor en la ejecución de proyectos, pues se puede aplicar a proyectos que incluyen un nuevo proceso o para modificar algún proceso existente, lo que indica que es una estrategia que se debe incluir en cualquier tipo de proyecto.

Hay que aclarar que cualquiera que sea la aplicación de la estrategia para encontrar la causa raíz y cualquier herramienta aplicada que de ella se desprende, su éxito depende mucho del equipo de trabajo con el que se desarrolla el proyecto, pues se deben tener personas con conocimientos y experiencia suficiente como para ser la guía del equipo, de igual manera se deben tener integrantes con un criterio objetivo pues se pueden tener omisiones y los resultados podrían no ser los adecuados.

Por otro lado, es muy importante hacer un recorrido del proceso con todo el equipo de

expertos que intervienen en el área que se quiere mejorar o en el proceso donde se busca solucionar una problemática, esto porque desde oficina se pueden asumir cuestiones que pueden resultar problemas a futuro. Por tal motivo, caminar el proceso con el equipo completo da otra perspectiva y puede ayudar a tomar mejores decisiones. También es necesario señalar que este recorrido se debe hacer de manera ordenada y se debe incluir desde el almacén de materia prima, hasta el almacén de producto terminado, pasando por todas las áreas de transformación de los materiales hasta llegar al producto terminado, en este caso, parrillas niqueladas. Es por esta razón que según la herramienta SIPOC, ayuda a alinear al equipo de trabajo y da orden a la investigación, con lo cual no se pierde de vista el objetivo y el alcance del proyecto.

Referente al objetivo planteado en este proyecto, se puede decir que este se alcanzó parcialmente pues si se desarrolló un análisis de

causa raíz que incluyó, como herramientas de mejora continua, un análisis causa y efecto, un estudio de 5 porqués, y un recorrido en el proceso. Adicional, se desarrolló una valoración de las áreas de oportunidad del proceso que dio orden / priorizó los cambios que se debían hacer en la línea. El uso de estas herramientas ayudó a identificar equipos que ya eran obsoletos para el proceso, los cuales pudieron reemplazarse. Con todo esto se alcanzó un OEE mensual del 85%. Se redujo el scrap al 2% (\$100,000 MXN) en el segundo semestre del año y el espesor si alcanzó las 7 micras algunos meses, pero se mantuvo un mejor control de esta variable a pesar de que fue el indicador más complicado de alcanzar, con estos dos valores se alcanza parcialmente lo definido en el objetivo del proyecto.

El tema financiero en todos los proyectos es un tema sensible por lo que se deben cerciorar y concluir en equipo las prioridades de ejecución de cada una de las actividades, si bien es cierto el recurso económico es finito y es algo que se debe tomar como inversión, la cual deberá regresar lo antes posible a la compañía.

El liderazgo en este tipo de proyectos es crucial pues se debe llevar orden en cada una de las actividades, se deben tener datos los cuales deben ser bien interpretados y sobre todo se debe mantener el rumbo del proyecto siempre en dirección adecuada para alcanzar los objetivos. Que, dicho sea de paso, se tienen que definir con mucho cuidado y con ellos acotar de manera adecuada el alcance del proyecto, el cual, de la misma forma debe comunicarse al equipo y a la

alta gerencia. De no tener objetivos claros y un alcance acotado, se puede perder el rumbo del proyecto y los resultados se encaminarían al fracaso.

Este documento aportó a la compañía donde se ejecutó el proceso, mejoras económicas, en infraestructura y administración del mismo. De manera general, este proyecto sirve como un ejemplo más de que las herramientas desarrolladas para la gestión de la calidad y el riesgo, siguen vigentes y entregan buenos resultados. Para este proyecto, su aplicación fue en un proceso de niquelado o galvanoplastia, proceso que es complicado controlar y para el cual ayudaron en gran medida a lograr el objetivo planteado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con las herramientas aplicadas en este proyecto son fundamentales para alcanzar el objetivo planteado al inicio de este documento pues con ello se pudo encontrar amenazas que pueden poner en riesgo el cumplimiento de este y al encontrarlas se pudieron identificar salvaguardas que ayuden a minimizar o mitigar causas encontradas.

Con los puntos definidos por el equipo de expertos en el diagrama Ishikawa se desarrollaron modificaciones en el proceso. Estos cambios desarrollados fueron dirigidos a mejorar, principalmente, la circulación de corriente eléctrica en el proceso, misma que es fundamental para que la deposición del níquel en las parrillas se pueda llevar a cabo. Dichos cambios fueron la

actualización de soportes V, cambio de rectificadores, cambio de radiador y cambio en el plan de control para la limpieza de los puntos de contacto entre racks y barra de cobre.

Como resultado de los cambios desarrollados se pudieron alcanzar resultados del OEE superiores al 80%, esto medido semanalmente. Otro resultado positivo que se tuvo fue la tendencia a la baja del scrap, disminuyendo hasta \$50,000 MXN semanales. De igual forma el espesor pudo controlarse y tener resultados superiores a lo planteado en el objetivo

Por otro lado, podemos concluir que el análisis de causa raíz es una herramienta sencilla de utilizar, robusta y una excelente opción para encontrar las soluciones de un problema determinado. Cabe señalar que cuando esta herramienta es desarrollada con expertos, la probabilidad de éxito aumenta pues son ellos los que conocen el área, entienden el proceso y pueden encontrar una solución que se alinea con los resultados esperados de cada proceso.

Podemos decir que las herramientas estadísticas ayudan a comprobar la relación que hay entre variables que nosotros decidamos medir, en este caso puedo decir que los equipos eran ineficientes y debieron verse cambiado tan pronto los indicadores de calidad comenzaron a estar fuera de objetivo. De igual forma lo que debemos monitorear es si el plan de control requiere ajustes periódicamente, esto porque puede haber cambios ambientales o de la materia prima que requieran un ajuste menor para

trabajar eficientemente.

Tomando en cuenta el tema técnico, el espesor de las parrillas resultó no ser un parámetro para descartar una parrilla como pieza no aceptable, si es fundamental que se tenga un espesor adecuado a lo requerido pero al tener un brillo adecuado estamos asegurando que tiene el espesor suficiente para que el producto sea funcional pues en las pruebas desarrolladas no hay material aceptable con espesor menor a 5 micras, la nominal es 7 micras pero se debe proponer hacer un estudio que nos permita definir si es aceptable reducir el requerimiento del espesor del níquel pues con estos resultados se logró tener una apariencia de acuerdo a los estándares de calidad solicitados y este no genera problemas en campo, con el usuario final.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores de este documento (José Francisco Maldonado Naranjo, José Luis Colín Martínez y Ma. Teresa Muñoz Martínez) declaramos que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

- Alonzo H. (2009). UNA HERRAMIENTA DE MEJORA, EL OEE (EFECTIVIDAD GLOBAL DEL EQUIPO). [Archivo PDF] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10251916>
- Altmann C. (2006). El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad [Archivo PDF].
- Arguelles, J., Pineda Z. y Cruz C. (2021). Medición, análisis y rediseño de parrillas de horno aplicando metodología Seis Sigma. Revista Internacional de Investigación e Innovación

- Tecnológica. 6(6), 12-26.
https://riiit.com.mx/apps/site/files_v2450/par_rillas_uaslp_2_riiit_nov-dic_2021.pdf
- Baro M., Estrada M. y García I. (2016). Una aplicación de la metodología seis sigma para la optimización de línea de producción de arneses. *Revista Ingenierías*.3(4), 53-61.
https://ingenierias.uanl.mx/anteriores/72/documentos/una_aplicacion_de_la_metodologia.pdf
- Becerra L., Herrera J., Morris L., & Toro A. (2024). Tecnologías de la cuarta revolución industrial utilizadas en la manufactura para mejorar los indicadores de productividad: Entre ciencia e ingeniería, 1(2), 46-58.
- Caeiro M. & Fernández M. (2020). Buscando soluciones innovadoras: de la tormenta de ideas al desarrollo de concepto. [Archivo PDF]
https://www.researchgate.net/publication/342551253_Buscando_soluciones_innovadoras_de_la_tormenta_de_ideas_al_desarrollo_de_concepto
- Dextre J. y Del Pozo R. (2012). ¿Control de gestión o gestión de control? *Revista contabilidad y negocios*. 7(14), 69-80.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281624914005>
- DOI rces.v25n38.a4
- DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v24n3-2025005>
- García C., Tene A., Burgos K. y Zambrano C. (2018). TÉCNICAS Y MÉTODOS ELECTROQUÍMICOS: GALVANOPLASTIA Y POTENCIOMETRÍA. *Revista alternativas*, 1(3), 80 – 87.
<http://dx.doi.org/10.23878/alternativas.v19i1.196>
- García M., Quispe C. y Raéz L. (2003). MEJORA CONTINUA DE LA CALIDAD EN LOS PROCESOS. *Industrial Data. Revista de investigación*.1(6), 89-94.
<https://www.redalyc.org/pdf/816/81606112.pdf>
- González H. y Escobar C. (2021). Aplicación de la herramienta SIPOC a la cadena de suministro interna de una empresa distribuidora de medicamentos. *Revista Lumen Gentium*, 2(2), 119-134. <https://doi.org/10.52525/lg.v5n2a8>
- Guevara G., Verdesoto A. y Castro N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista Científica de la investigación y el conocimiento*, 3(4), 163-173. DOI:10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173
- Hernández, J. M., y Gallego, J. (2015). Deposición electrolítica de níquel. [Archivo PDF]. <https://icts-yebes.oan.es/reports/doc/IT-CDT-2015-8.pdf>
- https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64567583/causaraizaltmann-libre.pdf?1601510758=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCausaraizaltmann.pdf&Expires=1771895906&Signature=D0keJ1wtIDqH6gwtDpV9qpUFhrex81SEXRvY87GKFW7OL-E6MpF5cEW-CBSBeyLkpaI0x8ju86mjYjMhXecOgB-fahCDw0775Venk-sBvVadzm-y~MLE3ui2d3KXwa~0q4ONblxFpiBGdSXJH3SBUZVleX9A7t-uhT9xHFQdS-dlzeoWATbSUYwtU8xR2~b4FiPkyHXTFiFchBNvSiSaHBJSlgU8FwXeL~ICkEi3QNzplImdf8v~ZdEUB0~D45R0DwmeVpTqC1egMJkpubQ8fwDI-61ZjUfmc6ek28KQJzvCTA3D3HVVHvYllqB4oViAduT2Fd9~8tKGD5orqK5w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- <https://doi.org/10.17981/bilo.5.2.2023.06>
- <https://doi.org/10.31908/19098367.3149>.
- ISO. (2018). UNE-ISO 31000: 2018 análisis de riesgo. ISO.
- ISO. (2019). NCh-ISO 31010: 2013 Gestión del riesgo - Técnicas de evaluación de riesgo. ISO.
- Juárez J. (2018). Implementación de la metodología DMAIC para la mejora de un proceso productivo en una empresa del ramo logístico. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16060/Tesis%20-%20Javier%20Juarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Miño G., Moyano J. y García A. (2017). KAIZEN EN EL GEMBA DE JEAN PARA MICROEMPRESAS TEXTILES CANTÓN PELILEO. *Revista ECA Sinergia*. 1(2), 85-94.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=25747>

Molina O., Ortega O., Heredia S., y Rivera L. (2023). Aplicación de la Metodología de Ishikawa en el Proceso de Cromado en una Empresa del Sector Industrial. Boletín de Innovación, Lógica y Operaciones, 2 (2), 62-71.

Morales E., Pérez M. Ramírez L. y Ramírez S. (2025). Implementación de Indicadores de la manufactura esbelta: Eficiencia global de los equipos y las seis grandes pérdidas del mantenimiento en la empresa Pack-ISI. Ingeniería Industrial, 2(3), 163-189. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2025.n48.7750>

Morris, L., Salazar-De Morris, O., y López-Isaza, G. A. (2025). Tecnología 4.0 y OEE como alternativas de mejora de la productividad en la industria manufacturera. Revista UIS Ingenierías, 3(4), 61-74.

Muñoz D. y Cuadros A. (2016). Comparación de metodologías para la gestión de riesgos en los proyectos de las Pymes. Revista ciencias estratégicas. 2(2), 319-338.

Narro J. y Valverde R. (2020). Implementación del Sistema de Eficiencia Global de los Equipos (OEE) para mejorar la Productividad de las Máquinas en el Chapado Mecanizado en una Agroindustrial de la Región La Libertad. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/050185f4-a5a1-4376-8299-ea9a1e752810/content>

Navarro E., Gisbert V. y Pérez A. (2017). Metodología e implementación de six sigma. 3C Empresa.4(4), 73-80. <http://dx.doi.org/10.17993/3comp.2017.especial.73-80>

Nickel Institute. (2022). Nickel plating handbook. Nickel Institute.

Project Management Institute (2017). La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). Project management Institute.

Trejo, R. Sánchez A., Pérez J., Moreno Z. y González B. (2023). Análisis de Factores

Internos y Externos Mediante las Herramientas de PESTEL y FODA en una Empresa de Corte Laser en el Estado de Tlaxcala. Ciencia Latina Internacional.5(6), 8461-8474. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8421