

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Aumento de la tasa de salida del proceso de cromado en una empresa de
metalúrgica industrial para línea blanca.

INGE-2913

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Industrial

Presentado por:

Jhonny Stiven Tigua Franco

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida y me ha guiado por el buen camino.

A mis padres y a Neya, quienes me han motivado a seguir adelante cada día en este largo camino, brindándome su apoyo y palabras de aliento para no rendirme.

A mi abuela Cirila, quien ya no se encuentra con nosotros, pero fue quien me formó desde pequeño y siempre vivirá en mi corazón.

Y, finalmente, a todos mis familiares, amigos y conocidos, que con su granito de arena contribuyeron a alcanzar este objetivo.

Agradecimientos

Ante todo, agradezco a Dios, por darme sabiduría, luz y fortaleza que me ha acompañado en cada etapa de este recorrido, permitiéndome alcanzar este momento tan importante en mi formación académica.

A mis padres y a Neya, quienes han estado a mi lado desde el inicio de este trayecto, siempre presentes con su apoyo, su impulso y sus palabras que me fortalecieron para no rendirme en este proceso.

A mi abuela Cirila, quien en vida me inculcó valores y enseñanzas que permanecerán siempre conmigo.

Agradezco a mis profesores, en especial a la Ing. María Laura Retamales, quien compartió generosamente sus conocimientos como tutora.

Declaración Expresa

Yo Jhonny Stiven Tigua Franco acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 27 de mayo del 2025.



- Autor

Jhonny Stiven Tigua Franco

Evaluadores

Maria Denise Rodríguez Zurita, PhD.

Profesor de Materia

María Laura Retamales G.,M.Sc.

Tutor de proyecto

Resumen

En un entorno productivo, la tasa de salida de un proceso es la cantidad de piezas que se obtienen en una línea de producción durante un periodo de tiempo determinado, reflejando el ritmo de esta. Este proyecto se desarrolló en una empresa metalúrgica industrial dedicada a la fabricación de parrillas para línea blanca, con el objetivo de incrementar la tasa de salida del proceso de cromado, donde se otorga un acabado brillante mediante níquel y cromo a las parrillas. Para ello, se aplicó la metodología DMAIC de Lean Six Sigma, considerando las cinco etapas: definir, medir, analizar, implementar y controlar, incorporando de manera activa al cliente para identificar mejoras, especialmente en la operación de niquelado, identificando un cuello de botella. A través del diseño experimental se determinó la combinación óptima de factores de configuración que redujo el tiempo de niquelado de 16 a 12,5 minutos por lotes de 57 unidades, además de implementarse actividades de control enfocadas en dicha operación. Como resultado, la tasa de salida aumentó un 25%, pasando de 185 a 232 unidades por hora, generando una ganancia neta adicional de 6.700 dólares mensuales, logrando también un impacto ambiental al reducir en un 20% el consumo de agua por parrilla procesada y un impacto social al capacitar al 100% de los operadores en actividades de control de procesos, garantizando así la sostenibilidad de los resultados a lo largo del tiempo.

Palabras Clave: Tasa de salida, DMAIC, diseño experimental, procesos.

Abstract

In a production environment, the throughput of a process is the number of units produced by a production line within a given period of time, reflecting the production pace. This project was carried out in an industrial metalworking company dedicated to manufacturing grills for household appliances, with the objective of increasing the throughput of the chrome plating process, where grills are given a shiny finish with nickel and chrome. To achieve this, the DMAIC methodology of Lean Six Sigma was applied, considering its five stages: define, measure, analyze, implement, and control, actively involving the customer to identify improvements, especially in the nickel plating operation, identified as the bottleneck. Through experimental design, the optimal combination of configuration factors was determined, reducing the nickel plating time from 16 to 12.5 minutes per batch of 57 units, along with implementing control activities focused on this operation. As a result, the throughput increased by 25%, from 185 to 232 units per hour, generating an additional net gain of \$6,700 per month, achieving an environmental impact by reducing water consumption per processed grill by 20%, and a social impact by training 100% of the operators in process control activities, thus ensuring the sustainability of the results over time.

Keywords: *Throughput, DMAIC, experimental design, processes.*

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Marco teórico	5
Capítulo 2	8
2.1 Metodología	9
2.2 Definición	9
2.2.1 Alcance.....	9
2.2.2 Voz del cliente (VOC)	10
2.2.3 CTQ TREE	11
2.2.4 Definición del problema	12
2.2.5 Triple Botton Line	13
2.2.5.1 Económico	13
2.2.5.2 Social	14
2.2.5.3 Ambiental	14

2.2.6	Restricciones.....	14
2.3	Medición.....	15
2.3.1	Diagrama de proceso	16
2.3.2	Plan de recolección de datos.....	17
2.3.3	Validación de datos.....	18
2.3.4	Verificación de datos.....	22
2.3.5	Comparación de datos	23
2.3.5	Estratificación de datos	25
2.3.5.1	Tanques de niquelado.....	25
2.3.5.2	Tipo de parrilla	26
2.3.6	Problema enfocado	28
2.4	Análisis.....	28
2.4.1	Lluvia de ideas	28
2.4.2	Diagrama de Ishikawa.....	29
2.4.3	Matriz Causa – Efecto	30
2.4.4	Diagrama Pareto	30
2.4.5	Diagrama Impacto – Control.....	31
2.4.6	Plan de verificación de causas	31
2.4.7	Herramienta 5 porqués.....	37
Capítulo 3		39
3	Resultados y Análisis	40
3.1	Mejora.....	40
3.1.1	Soluciones.....	40
3.1.2	Análisis de costos de implementación de mejoras.....	41
3.1.3	Implementación de soluciones propuestas.	44
3.1.3.1	S1: Establecer nuevos parámetros mediante diseño experimental y asesoramiento de proveedores.	45

3.1.3.2 S8: Crear un registro de verificación diario o semanal para verificar y recargar los niveles de níquel según el consumo.	48
3.1.3.3 S15: Crear un formulario rápido de adiciones químicas estilo de lista de verificación.	49
3.1.3.4 S17: Programar un mantenimiento periódico para limpiar o reemplazar las gancheras.....	50
3.1.3.5 S:11 Capacitar y asignar las actividades de control del proceso a todos los operadores.	52
3.1.4 Comparación de resultados: Antes vs Después.....	53
3.1.5 Resultados: Triple Botton Line	55
3.1.5.1 Económico	55
3.1.5.2 Social.....	57
3.1.5.3 Ambiental.....	57
Capítulo 4	59
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	60
4.1.1 Conclusiones	60
4.1.2 Recomendaciones	61
Bibliografía	62
Apéndice.....	63

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer
MTO	Make to Order
CP	Capability Process
CPK	Capability Process Adjusted
CTQ	Critical to Quality
VOC	Voice of Customer
AV	Agrega Valor
NAV	No Agrega Valor
NAVN	No Agrega Valor pero es Necesario

Índice de figuras

Figura 1. Serie de tiempo Tasa de salida diaria del proceso de cromado en parrillas grandes del mes de marzo y abril del 2025.....	4
Figura 2. Diagrama SIPOC	10
Figura 3. Diagrama VOC.....	10
Figura 4. CTQ TREE.....	12
Figura 5. Herramienta 3W+2H: Definición de problema.	12
Figura 6. Diagrama de operaciones del proceso de cromado.	16
Figura 7. Resumen de actividades del proceso, fabricas ocultas y cuello de botella ...	17
Figura 8. Estadística descriptiva Tasa de salida promedio (unidades/hora)	21
Figura 9. Prueba T-student para muestras independientes: Diferencias de medias	21
Figura 10. Análisis de capacidad: Tasa de salida diaria promedio (unidades/hora)	23
Figura 11. Grafica de caja: Tiempo por Operación.....	24
Figura 12. Gráfica de caja: Estratificación de datos – Tanques de niquelado.....	26
Figura 13. Gráfica de caja: Estratificación de datos – Tipo de parrilla.....	27
Figura 14. Herramienta 3W+2H: Problema enfocado.....	28
Figura 15. Lluvia de ideas: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado.....	29
Figura 16. <i>Diagrama Ishikawa: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado.</i>	29
Figura 17. Diagrama Pareto: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado. ...	30
Figura 18. Diagrama Impacto – Control: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado.	31
Figura 19. <i>Contraprueba: Nivel de níquel en los ánodos</i>	33
Figura 20. <i>Contraprueba: Nivel de níquel en los ánodos.</i>	34
Figura 21. <i>Contraprueba: Gancheras.</i>	35
Figura 22. Potenciales soluciones de los altos tiempos de niquelado.	40
Figura 23. <i>Diseño experimental: Análisis de varianzas y ecuación de regresión.</i>	47
Figura 24. <i>Optimización de minimización: Diseño experimental.</i>	48
Figura 25. Diseño experimental: Factores óptimos.....	48
Figura 26. <i>Registro de verificación de los niveles de níquel.</i>	49
Figura 27. <i>Registro de adición de químicos: Baños de níquel.</i>	50
Figura 28. <i>Evaluación de la implementación decapado de níquel: Proveedor.</i>	51
Figura 29. Cronograma de asignación de actividades de control.	52

Figura 30. Capacitación sobre el plan de asignación de actividades de control.	53
Figura 31. Comparación de resultado: Tasa de salida diaria (unidades/hora) del proceso de cromado.....	54
Figura 32. Comparación de resultado: Diagrama de cajas y análisis descriptivos.....	55
Figura 33. <i>Medición de micra mediante el medidor de micras.</i>	56

Índice de tablas

Tabla 1. Datos recopilados por medio de observación directa de la Variable Y.	19
Tabla 2. Datos obtenidos de la empresa del registro de producción de la Variable Y..	19
Tabla 3. Especificaciones de los tanques de niquelado.....	25
Tabla 4. Tipos de parrillas grandes de horno	27
Tabla 5. <i>Parámetros de niquelado.</i>	32
Tabla 6. <i>Resultados contraprueba: C6 – Bajo nivel de níquel en los ánodos.</i>	33
Tabla 7. <i>Resultados contraprueba: C7 – No hay control de químicos que se adicionan.</i>	34
Tabla 8. <i>Resultados contraprueba: C13 - El uso de gancheras viejas genera tiempos altos</i>	36
Tabla 9. Herramienta 5 porqués: Causas potenciales alto tiempo de niquelado	37
Tabla 10. Soluciones Propuestas	41
Tabla 11. Análisis de Costo Solución 1.....	42
Tabla 12. Análisis de Costo Solución 8.....	42
Tabla 13. Análisis de Costo Solución 11.....	43
Tabla 14. Análisis de Costo Solución 15.....	43
Tabla 15. Análisis de Costo Solución 17.....	44
Tabla 16. Factores y niveles del diseño experimental.	45

Capítulo 1

1.1 Introducción

Actualmente, la industria metalúrgica ecuatoriana se enfrenta a un entorno altamente competitivo, debido a la constante innovación tecnológica y la presencia de fabricantes internacionales, especialmente de origen asiático, lo que les permite mantener costos significativamente bajos gracias al acceso más económico a materias primas producidas por ellos mismos. En este contexto, las empresas locales deben buscar mecanismos de mejora continua que les permitan mantenerse vigentes y competitivas frente a un mercado cada vez más exigente, tanto en calidad como en costos.

El presente estudio se centra en una empresa industrial ecuatoriana dedicada a la fabricación de parrillas metálicas para hornos, cocinas, cocinetas y refrigeradores. Uno de los procesos más significativos que otorgan valor agregado a sus productos es el cromado en su mayoría aplicado a las parrillas de horno. Sin embargo, se ha identificado que en dicho proceso se presenta una baja tasa de salida diaria promedio, acompañada de elevados costos asociados al uso excesivo de materia prima y la acumulación de horas extra. Estas condiciones han provocado retrasos en las entregas a clientes y una pérdida de competitividad frente a fabricantes extranjeros, principalmente chinos, quienes logran producir a menor costo con tiempos de respuesta más eficientes.

Ante esta problemática, se han detectado variables críticas dentro del proceso de cromado que afectan directamente la productividad, generando cuellos de botella y aumentando los tiempos de operación. Por tal motivo, este proyecto tiene como objetivo incrementar la tasa de salida en unidades por hora del proceso de cromado mediante la implementación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), orientada a la optimización continua de procesos industriales.

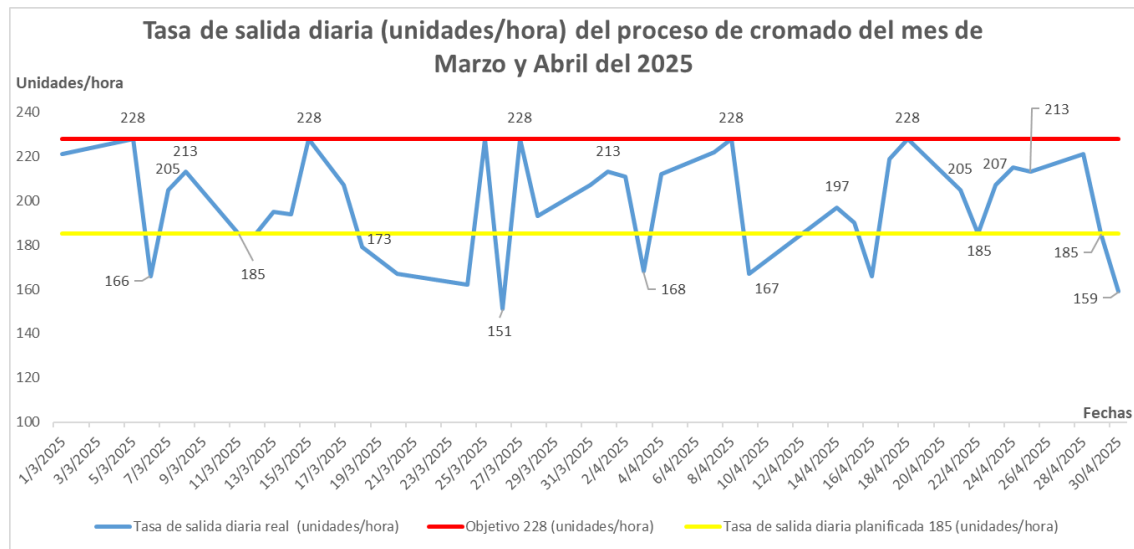
El enfoque del estudio tendrá un alcance exclusivamente al proceso de cromado de parrillas de horno de modelos de 30 y 32 pulgadas, considerando todas las actividades y recursos involucrados dentro de todo el proceso de cromado. A través de esta intervención se espera no solo mejorar el rendimiento operativo, sino también fortalecer la competitividad de la empresa en el mercado actual satisfaciendo al cliente con entregas a tiempo.

1.2 Descripción del problema

Según los datos brindados por la empresa donde se realizó el estudio en cuestión, la tasa de salida diaria promedio para parrillas grandes de horno es de 185 unidades por hora, la misma con la cual se realiza la planificación de la producción semanal por hora. No obstante, según los datos brindados del reporte diario de producción hora a hora, en los meses de marzo hasta mayo del 2025, se registra una máxima tasa de salida diaria promedio para parrillas grandes de horno de 228 unidades por hora, lo que registra que el estándar de producción está por debajo en un 23 % de la máxima producción a la que puede llegar el proceso de cromado.

En la figura 1 se detalla el comportamiento del proceso diario y su tasa de salida promedio para parrillas grandes. Aquí se puede evidenciar que existen factores o variables que influyen directamente al proceso, lo que provoca que esta tasa de salida aumente considerablemente.

Figura 1. Serie de tiempo Tasa de salida diaria del proceso de cromado en parrillas grandes del mes de marzo y abril del 2025.



Fuente: Datos brindados por la empresa.

1.3 Justificación del problema

Durante los meses de marzo y mayo del 2025, se ha identificado que el proceso de cromado para parrillas grandes de horno presenta una tasa de salida promedio por debajo de su capacidad máxima registrada. Esta situación ha generado retrasos en la producción y ha forzado el uso frecuente de horas extra, lo cual incrementa considerablemente los costos operativos y afecta directamente el cumplimiento de los plazos pactados con los clientes que actualmente es de 5 días laborables cabe recalcar que al trabajar por medio del sistema bajo pedido se reflejan constantemente estos retrasos.

Además del impacto económico, esta baja productividad compromete la competitividad de la empresa frente a productores extranjeros, especialmente fabricantes chinos que, al operar con menores costos de materia prima, pueden ofrecer productos similares a precios más bajos y con tiempos de entrega más reducidos. Esta desventaja amenaza la participación de la empresa en el mercado local y pone en riesgo su sostenibilidad a mediano y largo plazo. Por lo tanto, optimizar el proceso de cromado mediante herramientas de mejora continua se vuelve una necesidad estratégica que

permitirá aumentar la tasa de salida promedio en unidades por hora, sino también mejorar la eficiencia en el uso de recursos, reducir costos innecesarios, elevar el nivel de cumplimiento en entregas y fortalecer la imagen de la empresa como un proveedor confiable en la industria metalúrgica ecuatoriana.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Aumentar la tasa de salida diaria promedio (unidades/hora) para parrillas de horno grande de la línea de cromado en un 23% (de 185 unidades/hora a 228 unidades/hora) conservando la calidad del proceso por medio de la metodología DMAIC en un periodo máximo de 4 meses a partir de mayo del 2025.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Recolectar datos del proceso de cromado que permitan entender el desempeño actual del proceso.
2. Identificar las operaciones que conforman el proceso de cromado, clasificando las actividades que agregan valor, las que no lo agregan y las fábricas ocultas.
3. Determinar las causas raíz que limitan la tasa de salida diaria del proceso, utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa y la metodología de los 5 porqués.
4. Implementar mejoras que permitan el aumento de la tasa de salida diaria (unidades/hora).

1.5 Marco teórico

Para alcanzar el objetivo de este proyecto, se aplicará la metodología **DMAIC**, la cual se utiliza principalmente en proyectos de mejora continua, particularmente en entornos que requieren que los procesos sean eficientes, confiables y enfocados en

cumplir las necesidades de los clientes. Según Monday (2022), DMAIC proporciona un enfoque lógico, en secuencia y basado en datos, los cuales permiten identificar, analizar y resolver problemas en sectores como manufactura, servicios y educación.

Definición: Tiene el propósito de delimitar el problema, identificar a los clientes internos o externos, a su vez determinar los requerimientos críticos para la calidad (CTQs). Además, establecer los recursos que se necesitan y los objetivos esperados. Monday (2022) enfatiza que una definición precisa facilita el enfoque y alinea a los equipos con los objetivos del proyecto.

Medición: Se centra en recolectar datos fiables que permitan comprender el estado actual del proceso. Esto incluye identificar variables críticas del proceso, establecer indicadores medibles. Esta etapa es esencial para comparar el antes y después del proceso, y para evidenciar cuantitativamente las mejoras a lo largo del proyecto (Monday, 2022).

Análisis: Se basa en buscar las causas raíz del problema mediante diferentes técnicas como el diagrama de Ishikawa (causa-efecto), el análisis de Pareto, análisis 5 porqués, entre otras. Monday (2022) resalta que esta etapa permite evitar soluciones básicas, las cuales no son significativas para la problemática. La identificación adecuada de las causas raíz es crítica para garantizar la adecuada mejora del proceso.

Mejora: El objetivo de esta etapa es diseñar e implementar soluciones para eliminar las causas raíz del problema. Antes de la implementación, se sugiere realizar pruebas piloto para descartar soluciones erradas. Además, destaca la importancia de que estas soluciones sean prácticas y que su impacto sea medible conforme a los indicadores establecidos (Monday, 2022).

Control: Esta etapa busca mantener la sostenibilidad de las mejoras a través del tiempo. Esto mediante el uso de gráficos de control, planes de control y la estandarización

del proceso. Por otra parte, Monday (2022) asegura que, sin esta etapa, las mejoras podrían ser solo temporales y el proceso corre el riesgo de regresar a su estado anterior debido a la mala práctica o la llamada resistencia al cambio por parte de los dueños del proceso.

Capítulo 2

2.1 Metodología

Este proyecto se centrará en las cinco etapas de la metodología DMAIC: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, las cuales serán fundamentales para abordar la problemática identificada en el proceso de cromado, con el propósito de optimizar dicho proceso.

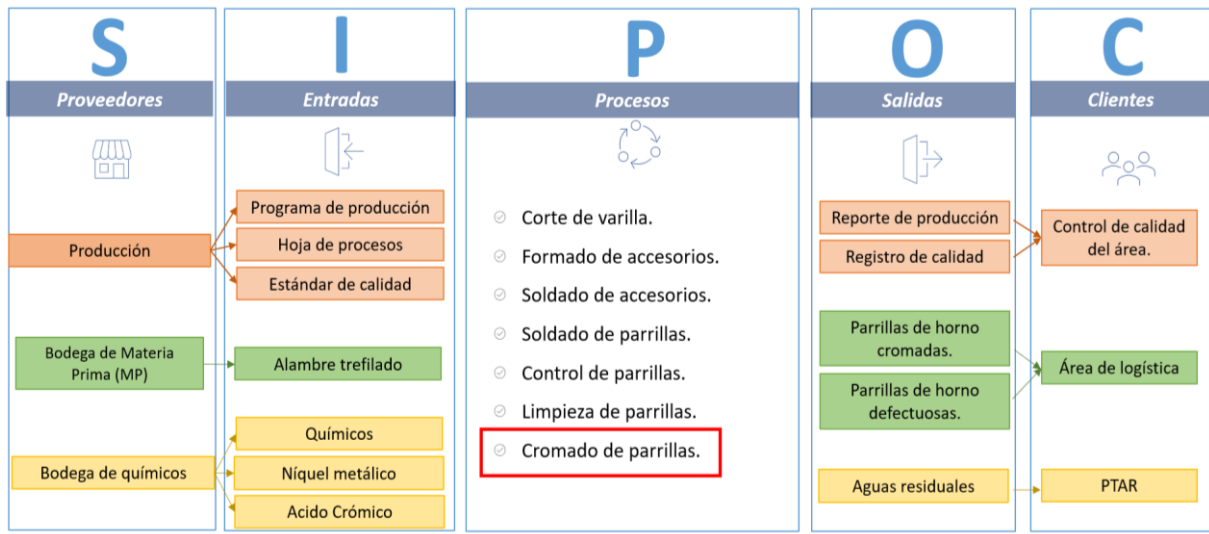
2.2 Definición

La etapa de definición marcó el comienzo de este proyecto, donde se identificó la problemática existente en la línea de cromado. Para ello, fue necesaria la colaboración de todo el personal operativo y del gerente del área de cromado, quienes están familiarizados con el proceso. A través de reuniones, charlas y sesiones de lluvia de ideas, se logró comprender el funcionamiento general del proceso.

2.2.1 Alcance

El alcance de este proyecto se estableció por medio de un diagrama SIPOC, donde se muestran los procesos de la fabricación de parrillas cromadas. Este diagrama incluye a los proveedores, las entradas, las salidas y clientes de los respectivos procesos (figura 2), permitiendo identificar el proceso de enfoque del proyecto: Cromado de parrillas. Este proceso aporta un valor agregado al producto, ya que constituye su acabado superficial, y se aplicara solo para el tipo de parrillas grandes de horno (30 y 32 pulgadas). La selección de este tipo de parrillas responde a que representan la mayor demanda en el mercado, según los datos proporcionados por la empresa correspondientes al primer trimestre del año 2025.

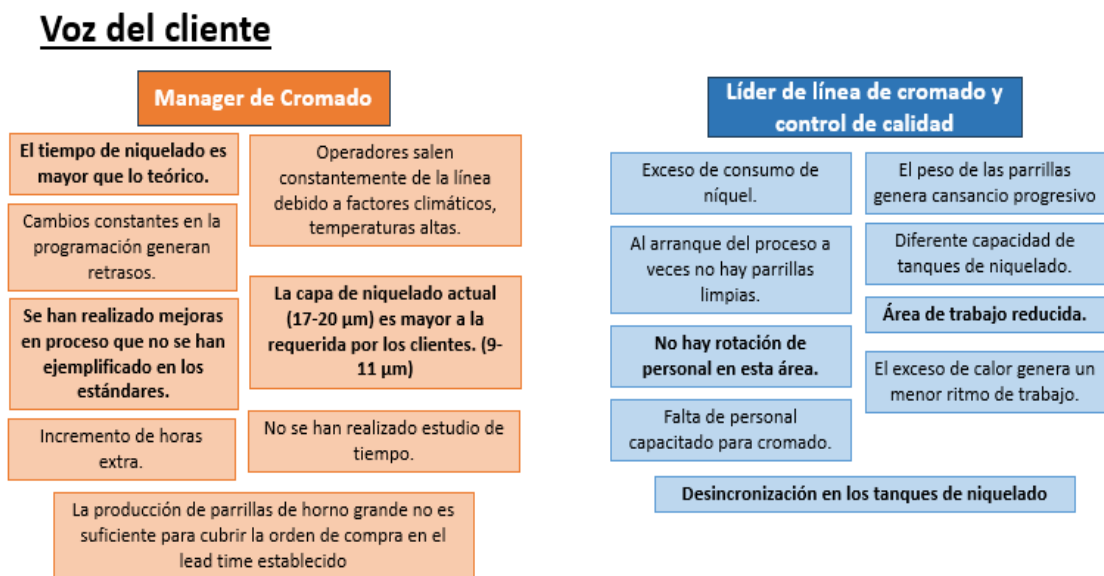
Figura 2. Diagrama SIPOC.



2.2.2 Voz del cliente (VOC)

Para comprender las necesidades actuales de los clientes, se empleó la herramienta Voice of the Customer (VOC) por medio de entrevistas, charlas y sesiones de lluvia de ideas, con el equipo del proyecto, conformado por el gerente de cromado, el líder de línea de cromado y el responsable del control de calidad de línea. Esto facilitó un enfoque multidireccional, al escuchar tanto a la parte administrativa como a la operativa del proceso (figura 3).

Figura 3. Diagrama VOC.



Entre todas las necesidades encontradas se pueden resaltar las siguientes:

1. Manager de Cromado.

- Se han realizado mejoras en proceso que no se han ejemplificado en los estándares.
- La capa de niquelado actual (17-20 μm) es mayor a la requerida por los clientes. (9 μm)
- El tiempo de niquelado es mayor que lo teórico.

2. *Líder de línea de cromado y control de calidad*

- No hay rotación de personal en esta área.
- Área de trabajo reducida
- Desincronización en los tanques de niquelado

2.2.3 CTQ TREE

Una vez determinadas las principales necesidades de los clientes de forma cualitativa se las transformó a necesidades cuantitativas para poder medirlas y ver el impacto que representarán en este proyecto, para esto se utilizó la herramienta CTQ TREE o también denominada Árbol de Características Críticas de la Calidad.

En la figura 4, se observa el CTQ TREE donde se definió la variable de salida para el proyecto, que representa las necesidades de los clientes y tiene un mayor impacto en la mejora del proceso, $Y = \text{Tasa de salida diaria promedio (unidades/hora)}$ la cual se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$Y = \text{Tasa de salida diaria promedio } \left(\frac{\text{unidades}}{\text{hora}} \right)$$
$$Y = \frac{\text{Total de unidades producidas en el día (unidades)}}{\text{número de horas trabajadas en el día (hora)}} \quad (2.1)$$

Figura 4. CTQ TREE.

Drivers	CTQ's	Measure	Target
Producción	Porcentaje de horas extras	$\% = \frac{\text{Número de horas extras (mes)}}{\text{Número total de horas trabajadas (mes)}} * 100$	Reducir a un 20%
	Porcentaje de pedidos con retrasos	$\% = \frac{\text{Número de pedidos entregados con retraso (mes)}}{\text{Número total de pedidos entregados (mes)}} * 100$	Reducir un 50%
Proceso	Peso promedio de parrillas	$= \frac{\text{peso parrilla 1} + \text{peso parrilla 2} + \dots + \text{peso parrilla n}}{n \text{ parrillas}} \text{ (gramo)}$	Reducir un 5%
	Tasa de salida diaria promedio	$= \frac{\text{Total de unidades producidas en el día (unidades)}}{\text{Número de horas trabajadas en el día (hora)}}$	Aumentar 23%
Personal	Porcentaje de operadores capacitados para cromar	$\% = \frac{\text{Número de operadores capacitados para cromar}}{\text{Número total de operadores del área de cromado}} * 100$	Aumentar a un 50%
Ambiental	Aguas residuales del proceso	= Volumen de agua residual diario. (litro)	Reducir un 10%
Producto	Espesor de níquel	$= \frac{\text{gramos de níquel}}{\text{area (cm}^2\text{)} * \text{densidad de níquel}} * 1000 \text{ (um)}$	Reducir a un 9-11 um

Se definió como objetivo aumentar la tasa de 23%, que representaría la ganancia neta mensual de \$6200 (= Costo de venta – Costo de producción).

2.2.4 Definición del problema

El problema se definió por medio de datos históricos brindados por la empresa, mediante las necesidades de los clientes y con ayuda de la herramienta 3W2H, que se utiliza para realizar la definición de una problemática con preguntas claves: ¿Qué? (what), ¿Dónde? (Where), ¿Cuándo? (When), ¿Cuánto? (How much), ¿Cómo lo sé? (How do I know), y de tal manera obtener respuestas claras que faciliten la identificación de soluciones optimas y alcanzables (figura 5).

Figura 5. Herramienta 3W+2H: Definición de problema.

¿QUÉ?	¿DÓNDE?	¿CUÁNDO?	¿CUÁNTO?	¿CÓMO LO SÉ?
La tasa de salida diaria promedio (unidades/hora) para parrillas de horno grandes no es lo suficientemente alta.	En la línea de cromado.	Desde enero del 2025	La tasa de salida diaria para parrillas de horno grandes en promedio es de 185 unidades por hora.	La tasa de salida diaria promedio para parrillas de horno grandes máxima registrada es de 228 unidades por hora.

Definiendo lo siguiente: Desde marzo del 2025, en la línea de cromado de una empresa de metalúrgica industrial, se presenta una tasa de salida diaria promedio de 185 unidades por hora para parrillas de horno grandes, que no es lo suficientemente alta y se encuentra por debajo de la máxima tasa de salida diaria promedio registrado según los datos históricos, siendo esta de 228 unidades por hora.

2.2.5 Triple Botton Line

La herramienta Triple Bottom Line, también conocido como Triple Resultado Final, se utiliza para medir el desempeño dentro de una organización por medio de tres puntos de vista de manera proporcionada: social, económico y ambiental; es decir, cuantifica el impacto en cada una de estas métricas y, a su vez, poder establecer metas dentro de la organización (James E. Stoddard, Carol E. Pollard, Michael R. Evans, 2012). Los indicadores bajo estas métricas para este proyecto son:

2.2.5.1 Económico

- *Tasa de salida diaria promedio:* Mide el rendimiento promedio de la línea de cromado diario en unidades/hora.

$$= \frac{\text{Total de unidades producidas en el día (unidades)}}{\text{Número de horas trabajas en el día (hora)}} \quad (2.2)$$

- *Porcentaje de pedidos entregados con retraso:* Mide el porcentaje de pedidos que se entregan con retraso es decir fuera del lead time establecido de 5 días.

$$= \frac{\text{Número de pedidos entregados con retraso(mes)}}{\text{Número total de pedidos entregados(mes)}} * 100 \quad (2.3)$$

- *Espesor de níquel:* Mide la capa de níquel que se agrega a cada parrilla según el consumo de níquel de esta.

$$= \frac{\text{Gramos de níquel adicionado}}{\text{área(cm2)*densidad de niquel}} * 10000(\mu\text{m}) \quad (2.4)$$

2.2.5.2 Social

- *Porcentaje de operadores capacitados para cromar:* Mide el porcentaje de operadores que se encuentran aptos para realizar la operación de cromado.

$$= \frac{\text{Número de operadores capacitados para cromar}}{\text{Número total de operadores del área de cromado}} * 100 \quad (2.6)$$

2.2.5.3 Ambiental

- *Aguas residuales del proceso:* Mide el volumen de agua diario que sale del proceso de cromado en litros.

$$= \text{Volumen de agua residual diario. (litros)} \quad (2.7)$$

2.2.6 Restricciones

Las restricciones del proyecto fueron definidas por la Gerencia de Operaciones y el Manager de Cromado de la empresa. Estas limitaciones deberán regirse en todas las acciones y propuestas del presente proyecto, asegurando que se respeten los lineamientos estratégicos de la organización.

- ***No aumentar la cantidad de tanques de níquel:*** Actualmente, el proceso de cromado cuenta con cuatro tanques de níquelado, los cuales contienen una solución química especializada, que es preparada y suministrada por proveedores específicos, debido a esto existe un acuerdo vigente que limita la producción a estos cuatro tanques, además del alto costo monetario y operativo que significa la puesta en marcha de un nuevo tanque de níquelado.
- ***No incrementar el personal operativo:*** La Gerencia determinó que no se contratará nuevo personal operativo ya que se busca optimizar al máximo el desempeño del equipo actual, compuesto por siete operadores, de esta manera se busca fomentar una gestión más eficiente de los recursos disponibles.

- ***No cambiar de proveedores:*** Los proveedores actuales son aliados estratégicos, ya que no solo cumplen con el abastecimiento de materia prima, sino que también ofrecen servicios adicionales sin costo, como análisis químicos, visitas técnicas, acompañamiento en la operación y consultorías.
- ***Espacio físico limitado:*** El crecimiento acelerado de la organización ha reducido considerablemente el espacio disponible para el proceso de cromado, lo que representa una limitación al momento de realizar modificaciones físicas en el área, por lo que cualquier mejora que se plantee deberá adaptarse al espacio existente.
- ***Inversiones restringidas y justificadas:*** Toda inversión propuesta deberá ser sustentada con datos concretos que demuestren su viabilidad, es decir presentar el motivo de la inversión, el monto requerido, el impacto esperado en el proceso y el tiempo estimado de recuperación la inversión. Solo aquellas inversiones que presenten un retorno claro y medible serán aceptadas.

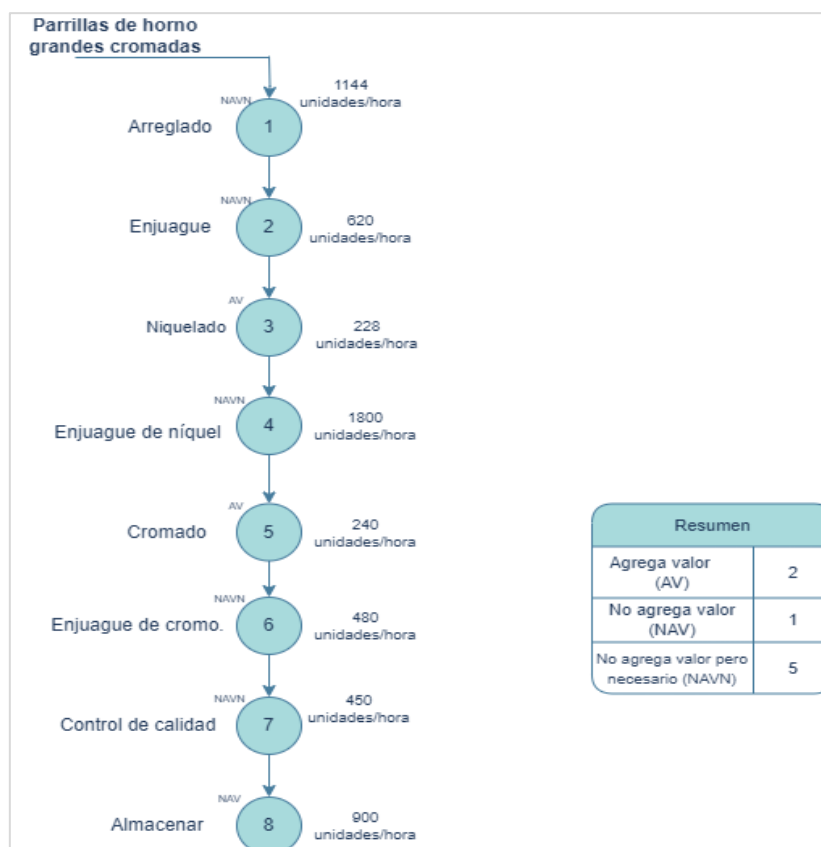
2.3 Medición

La medición dentro de la metodología DMAIC, es fundamental para comprender a fondo el desempeño actual de un proceso. En esta fase, el objetivo principal fue identificar y recolectar datos cuantitativos confiables, que permitan entender el estado actual del proceso. Por otra parte, también se centró en verificar la confiabilidad de los datos obtenidos y su impacto en la variable de salida (Y) por medio de herramientas estadísticas que permitieron evaluar la variabilidad del proceso y su capacidad para cumplir con los requerimientos establecidos.

2.3.1 Diagrama de proceso

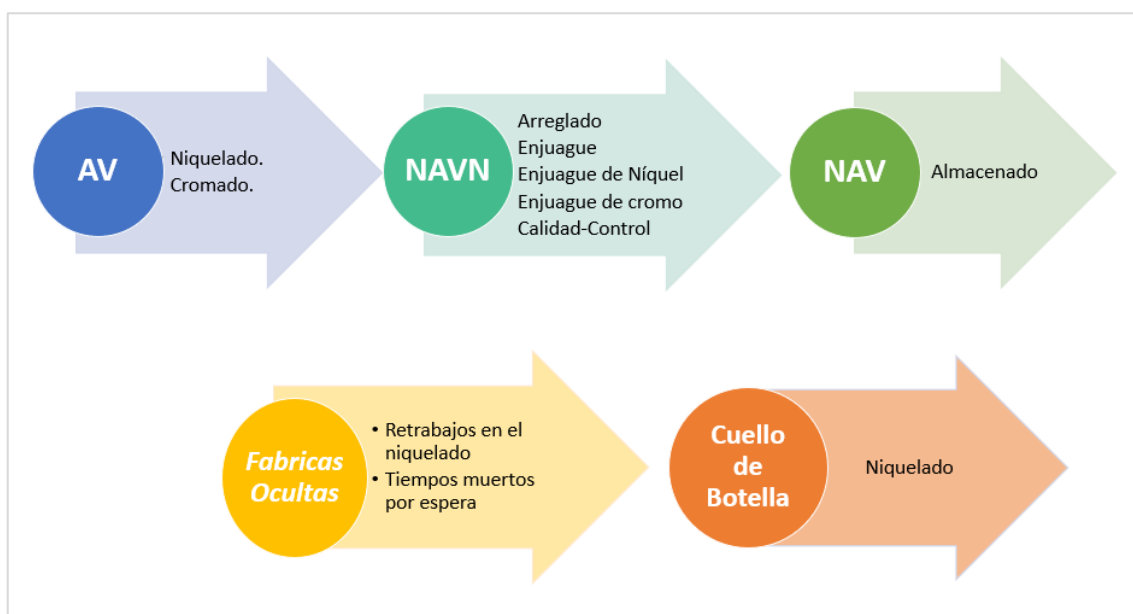
Para comprender el funcionamiento del proceso de cromado, se elaboró un diagrama de operaciones, representado en la figura 6. Este diagrama fue realizado bajo supuestos de condiciones ideales, lo que significa que el proceso se consideró operando a su máxima capacidad y rendimiento, se asumió que no existen tiempos de espera, movimientos innecesarios, ni interrupciones por ajustes o calibraciones, es decir un flujo de proceso continuo y eficiente, sin pérdidas de tiempo o recursos. Además, cada una de las operaciones se midió sobre rendimiento en unidades por hora (unidades/hora). Esto permite identificar de forma cuantitativa la capacidad de cada operación del proceso.

Figura 6. *Diagrama de operaciones del proceso de cromado.*



Se identificó que el proceso de cromado está compuesto por 8 operaciones que se dividieron en actividades que agregan valor, las que no agregan valor y finalmente las que no agregan valor, pero son necesarias (Figura 7).

Figura 7. Resumen de actividades del proceso, fabricas ocultas y cuello de botella.



2.3.2 Plan de recolección de datos.

Una vez comprendido el funcionamiento del proceso de cromado, se procedió a elaborar un plan de recolección de datos (apéndice 1), con el objetivo de recopilar información relevante sobre las operaciones más críticas del proceso cuantificando los datos y verificando aquellas operaciones que tienen un mayor impacto en la variable de salida del proyecto (Y).

- **Tiempo de Arreglado:** Corresponde al tiempo en el que se preparan las parrillas antes del proceso de niquelado. Aquí se colocan las parrillas en las gancheras y se organizan en un soporte conocido como cordel, donde permanecen hasta ser trasladadas a los tanques de niquelado.
- **Tiempo de Niquelado:** Este tiempo comprende a toda la operación de niquelado, donde las parrillas se introducen en los tanques de niquelado (4 tanques independientes) por medio de las gancheras de cobre, las cuales transmiten corriente continua a las parrillas haciendo que las piezas actúen como cátodos (carga negativa) y permitiendo que el níquel disuelto en la solución se deposite

sobre las mismas por medio de electrólisis, iniciando cuando las parrillas se retiran del cordel hasta que ingresan al enjuague después del baño de níquel.

- ***Tiempo de Cromado:*** Se refiere al tiempo que transcurre durante la operación de cromado en donde las parrillas se introducen en el tanque de cromo mediante gancheras de cobre que transmiten corriente continua a las parrillas, haciendo que las piezas actúen como cátodos (carga negativa) y permitiendo que el cromo disuelto en la solución se deposite sobre las mismas por medio de electrólisis. Inicia cuando la parrilla sale del enjuague del niquelado y finaliza cuando las parrillas salen del baño de cromo.
- ***Tiempo de Control-Calidad:*** Es el tiempo destinado a la inspección visual de las parrillas antes de ser enviadas a la operación de almacenamiento, se verifica que las parrillas cromadas cumplan con los estándares de calidad establecidos.

2.3.3 Validación de datos

La recolección de datos se llevó a cabo siguiendo el plan de recolección de datos definido anteriormente, no obstante, para la variable de salida Y, se intentó recolectar los datos mediante observación directa. Sin embargo, esta metodología no fue óptima, ya que la tasa de salida se expresa como un promedio diario (unidades/hora), lo que dificultó la recolección continua de los datos en tiempo real, se optó por validar los datos observados directamente durante un período de 8 días, que se presentan en la tabla 1 con los datos del registro de producción proporcionados por la empresa, correspondientes a los meses de abril, mayo y junio que se detallan en la tabla 2.

Tabla 1. *Datos recopilados por medio de observación directa de la Variable Y.*

Fuente	Fecha	Tasa de salida diaria promedio (unidades/hora)
Observación directa	9/6/2025	201
Observación directa	14/6/2025	183
Observación directa	15/6/2025	208
Observación directa	16/6/2025	211
Observación directa	21/6/2025	212
Observación directa	22/6/2025	171
Observación directa	23/6/2025	217
Observación directa	28/6/2025	228

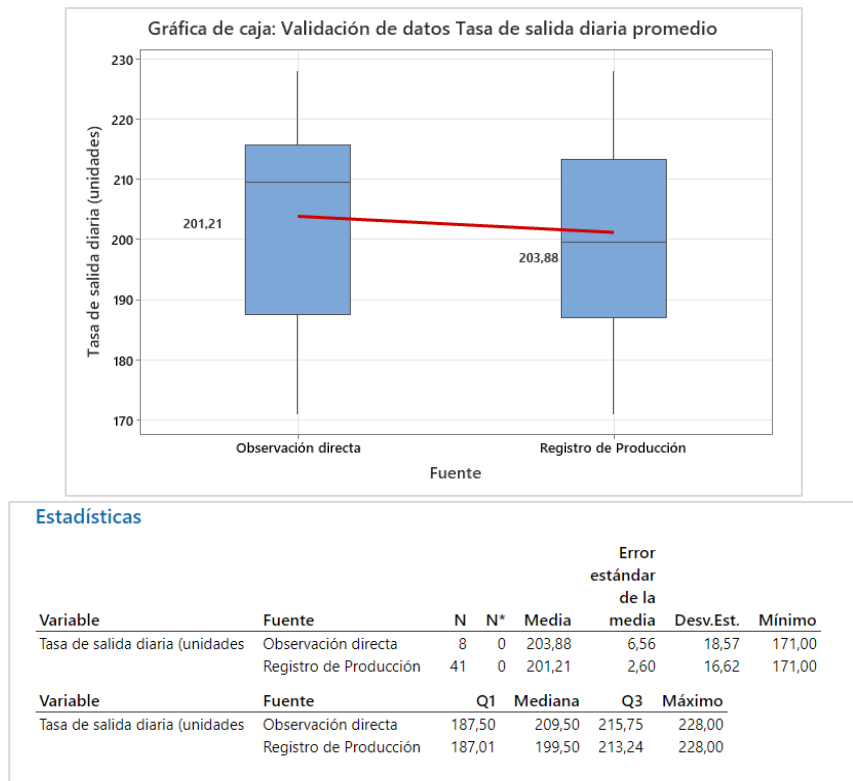
Tabla 2. *Datos obtenidos de la empresa del registro de producción de la Variable Y.*

Fuente	Fecha	Tasa de salida diaria promedio (unidades/hora)
Registro de producción	1/4/2025	212
Registro de producción	2/4/2025	208
Registro de producción	3/4/2025	180
Registro de producción	4/4/2025	205
Registro de producción	7/4/2025	193
Registro de producción	8/4/2025	228
Registro de producción	9/4/2025	199
Registro de producción	14/4/2025	228
Registro de producción	15/4/2025	186
Registro de producción	16/4/2025	171
Registro de producción	17/4/2025	210
Registro de producción	18/4/2025	210
Registro de producción	21/4/2025	202
Registro de producción	22/4/2025	185
Registro de producción	23/4/2025	197
Registro de producción	24/4/2025	193

Registro de producción	25/4/2025	193
Registro de producción	28/4/2025	228
Registro de producción	29/4/2025	228
Registro de producción	30/4/2025	228
Registro de producción	5/5/2025	185
Registro de producción	6/5/2025	187
Registro de producción	7/5/2025	214
Registro de producción	12/5/2025	195
Registro de producción	13/5/2025	189
Registro de producción	15/5/2025	189
Registro de producción	19/5/2025	202
Registro de producción	20/5/2025	180
Registro de producción	21/5/2025	185
Registro de producción	26/5/2025	204
Registro de producción	27/5/2025	186
Registro de producción	28/5/2025	188
Registro de producción	29/5/2025	171
Registro de producción	2/6/2025	201
Registro de producción	3/6/2025	185
Registro de producción	9/6/2025	228
Registro de producción	10/6/2025	213
Registro de producción	11/6/2025	210
Registro de producción	16/6/2025	199
Registro de producción	17/6/2025	215
Registro de producción	18/6/2025	228

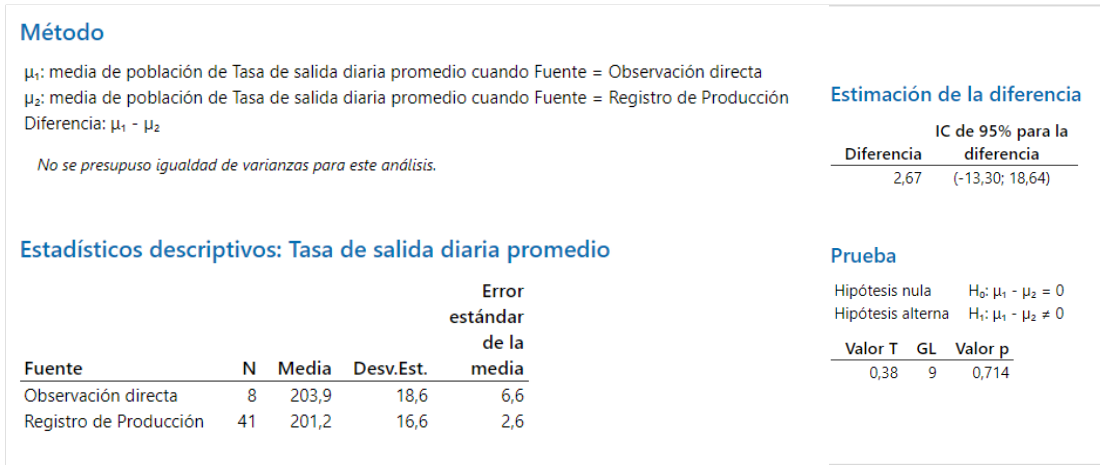
Para la validación de los datos, al tratarse de muestras con tamaños distintos ($n=8$ y $n=41$), se procedió a revisar los estadísticos descriptivos de ambas muestras, acompañados de un gráfico de caja (figura 8).

Figura 8. Estadística descriptiva Tasa de salida promedio (unidades/hora).



Los estadísticos descriptivos muestran una diferencia en la media de 203,88 unidades/hora y 201,21 unidades/hora para los datos de observación directa y del registro de producción respectivamente, resaltando que no existe una diferencia significativa en ambas muestras. Para comprobar esto, se aplicó una prueba T-Student para muestras independientes: diferencias de medias (figura 9), con el objetivo de comparar sus medias y determinar si existía una diferencia significativa entre ellas, con un intervalo de confianza del 95 %.

Figura 9. Prueba T-student para muestras independientes: Diferencias de medias.



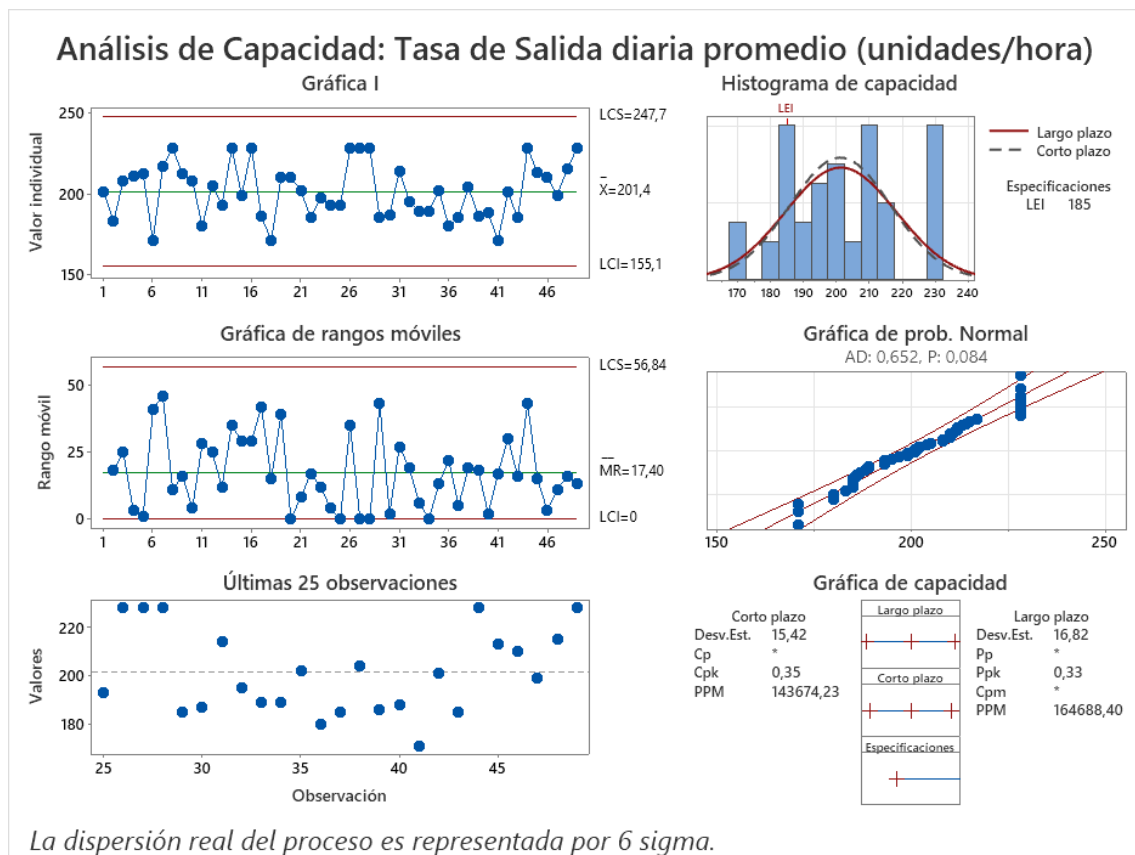
Los resultados de la prueba T mostraron una variabilidad de 18,6 para los datos obtenidos por observación directa y de 16,6 para los datos provenientes del registro de producción de la empresa. El análisis dio como resultado un valor $p = 0,714$, lo que indica que no existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula, por lo que se concluye que no hay una diferencia significativa entre las medias de las tasas de salida diarias, promedios de ambas muestras de datos. Esto sugiere que el comportamiento observado directamente en planta es estadísticamente consistente con los datos históricos proporcionados por la empresa.

2.3.4 Verificación de datos

Una vez validados los datos de la tasa de salida, se procedió a evaluar si el proceso se encuentra bajo control estadístico, es decir, si opera dentro de los límites naturales de variación sin la presencia de causas especiales o anómalas (Montgomery, 2019). Dado que la tasa de salida diaria promedio corresponde a un dato discreto (unidades/por hora), se utilizó una carta de control tipo C, para monitorear conteos de eventos o unidades en el tiempo. Esta herramienta permitió observar el comportamiento del proceso a través de tiempo.

Al tener una muestra de 49 datos se realizó un análisis de capacidad (figura 10) donde se concluyó que los datos distribuyen normalmente $p = 0,084$ y el proceso se puede ver afectado solo por causas comunes o aleatorias, es decir, el proceso es estable y está bajo control estadístico. Como el límite inferior 185 no es capaz de cumplir con un $cpk = 0,35$, nos indica que necesita de una inversión para alcanzar su máximo rendimiento.

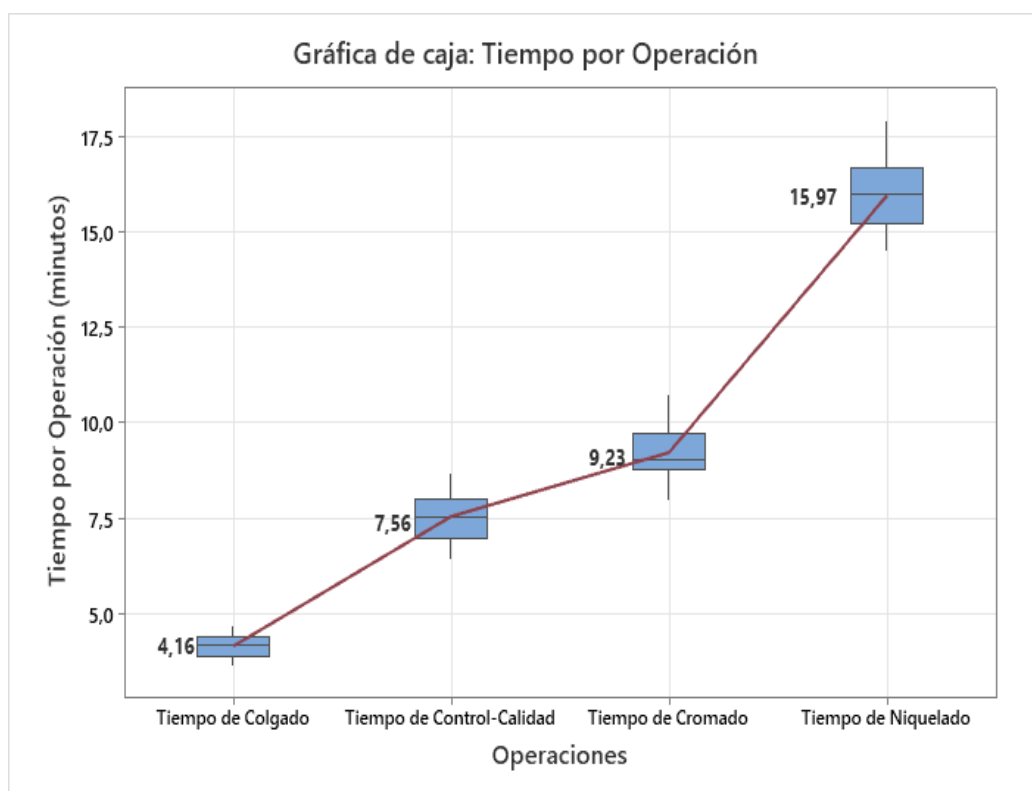
Figura 10. Análisis de capacidad: Tasa de salida diaria promedio (unidades/hora).



2.3.5 Comparación de datos

Luego de realizar la validación de datos, se procedió a identificar cuál de las siguientes variables tiene mayor impacto en nuestra variable Y: Tiempo de Colgado, Tiempo de Control de Calidad, Tiempo de Cromado y Tiempo de Niquelado. Para ello, se utilizó un diagrama de caja en la figura 11, donde se compararon los tiempos correspondientes a cada variable para lotes de 57 unidades. Además, se complementó el análisis con un estudio de capacidad del proceso, cuyos resultados se presentan en apéndice 2.

Figura 11. *Gráfica de caja: Tiempo por Operación*



Según el diagrama de cajas y el análisis de capacidad, la variable que afecta directamente a la variable de salida Y es el ***tiempo de niquelado***, debido a que es el tiempo que tiene mayor variabilidad y tiempo registrado, hasta 18 minutos con un $C_p=0,64$, es decir, que no es capaz. Además, como es el cuello de botella del proceso, indica que cualquier variación que exista en la operación de niquelado afectará directamente a la tasa de salida promedio diaria. Por otra parte, el tiempo de niquelado en óptimas condiciones y a su máxima capacidad puede tener un tiempo de 10 minutos por lote, con un acabado brillante y un recubrimiento de 10 micras, que es suficiente para cumplir los requerimientos de los clientes actuales de la compañía, siendo de 9 micras (Abel Beckwith, 2023).

2.3.5 Estratificación de datos

Una vez identificada la variable crítica Tiempo de Niquelado, correspondiente a la operación de niquelado, se procedió a realizar la estratificación de dicha variable. Los factores de estratificación: tanques de niquelado y tipo de parrilla.

2.3.5.1 Tanques de niquelado

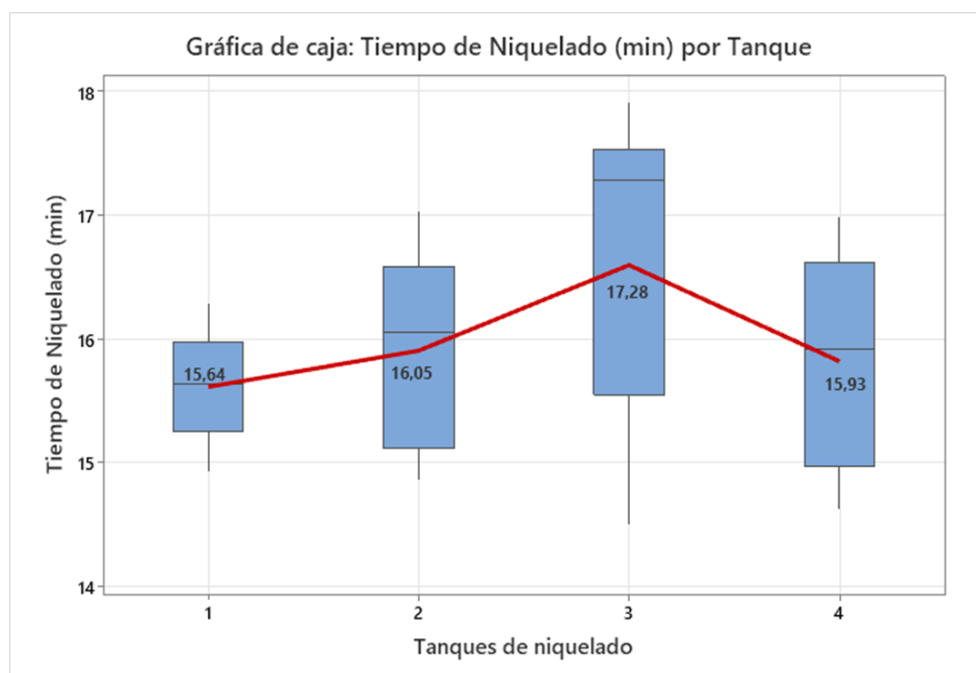
La operación de niquelado cuenta con cuatro tanques que operan de manera independiente. Las especificaciones técnicas de estos tanques se presentan en la tabla 3, donde se destaca que los cuatro tanques conforman el lote total de 57 unidades procesadas.

Tabla 3. *Especificaciones de los tanques de niquelado.*

Tanque	Lote (unidades)	Volumen (litro)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)
Niquelado 1	12	2376	180	120	110
Niquelado 2	15	3234	245	120	110
Niquelado 3	15	2376	240	90	110
Niquelado 4	15	3234	245	120	110

Para evaluar si existía una diferencia significativa en el tiempo promedio entre los tanques, se utilizó un diagrama de cajas (figura 12), que permitió visualizar posibles variaciones en el desempeño de cada tanque de niquelado.

Figura 12. *Gráfica de caja: Estratificación de datos – Tanques de niquelado.*



En el diagrama de cajas, se observa que no muestra una variación significativa en el tiempo promedio de la operación de niquelado entre los diferentes tanques. Sin embargo, se puede denotar que el Tanque 1 presenta el menor tiempo promedio, con 15,64 minutos, atribuyendo a su menor capacidad, ya que solo se puede procesar hasta 12 unidades por ciclo. Por otro lado, el Tanque 3 presenta el mayor tiempo promedio, lo que se debe a una restricción infraestructural que limita el acceso al mismo por un solo lado.

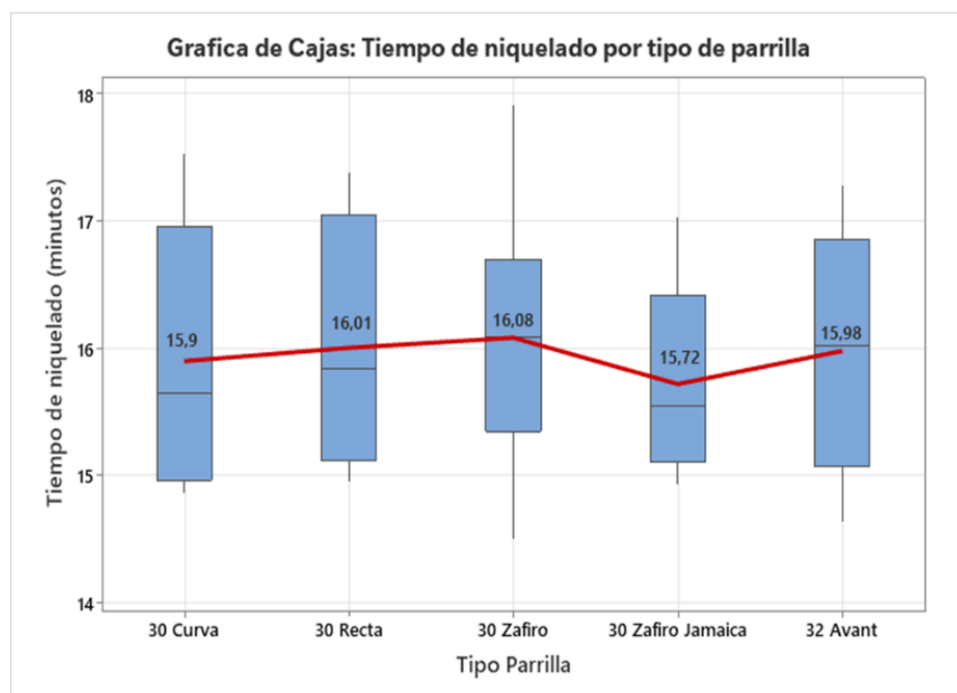
2.3.5.2 Tipo de parrilla

Se identificaron cinco tipos de parrillas de horno grande, los cuales se detallan en la Tabla 6 junto con su respectiva área en decímetros cuadrados (dm^2), ya que uno de los factores más relevantes en el proceso de niquelado es precisamente el área sobre la cual se va a adherir la capa de níquel, se utilizó el diagrama de caja para ver si existe una diferencia significativa del tiempo de niquelado según el tipo de parrilla figura 13.

Tabla 4. *Tipos de parrillas grandes de horno.*

Tipo de Parrilla	Área (dm2)
30 zafiro	11,83
32 Avant	10,92
30 curva	12,27
30 recta	12,11
30 zafiro Jamaica	11,83

Figura 13. *Gráfica de caja: Estratificación de datos – Tipo de parrilla.*



Los tiempos promedios según los tipos de parrillas están entre 15,7 y 16,1 minutos, es decir, la variación entre ellos es menor a 0,4 minutos, siendo una diferencia no significativa la cual puede considerarse que el tipo de parrilla no tiene un impacto en el tiempo de niquelado.

2.3.6 Problema enfocado

Como se mencionó anteriormente la operación crítica que impactó directamente y da la tasa de salida del proceso de cromado es la operación de niquelado, por ende el problema se va a enfocar en esta operación, con la técnica 3W + 2H (figura 14) se definió lo siguiente: “Desde enero de 2025, en la línea de cromado de una empresa metalúrgica industrial, presenta una tasa de salida diaria promedio en la operación de niquelado de 185 unidades por hora para parrillas de horno grandes, que no es lo suficientemente alta y se encuentra por debajo de la máxima tasa de salida registrado según los datos recopilados, que es de 228 unidades por hora.”.

Figura 14. Herramienta 3W+2H: Problema enfocado.

¿QUÉ?	¿DÓNDE?	¿CUÁNDO?	¿CUÁNTO?	¿CÓMO LO SÉ?
La tasa de salida diaria promedio de la operación de niquelado (unidades/hora) para parrillas de horno grandes no es lo suficientemente alta.	En la línea de cromado.	Desde marzo del 2025	La tasa de salida diaria de la operación de niquelado para parrillas de horno grandes en promedio es de 185 unidades por hora.	La tasa de salida de la operación de niquelado para parrillas de horno grandes máxima registrada es de 228 unidades por hora.

2.4 Análisis

En la etapa de análisis se buscó identificar las causas raíz que afectan directamente el proceso de niquelado y provocan altos tiempos en esta operación. Para ello, se utilizaron diferentes herramientas claves como: lluvias de ideas, el diagrama de causa-efecto (Ishikawa), la matriz impacto-control, priorización de causas potenciales y análisis de los 5 porqués.

2.4.1 Lluvia de ideas

La herramienta de lluvias de ideas se utilizó para encontrar las posibles causas potenciales del alto tiempo en la operación de niquelado, esta se realizó de la mano del equipo del proyecto donde los mismos expresaron sus opiniones y puntos de vistas de las posibles causas según sus diferentes criterios, las mismas que se muestran en la figura 15,

siendo el punto de partida de la etapa de análisis, debido a que de ahí saldrán las causas del problema.

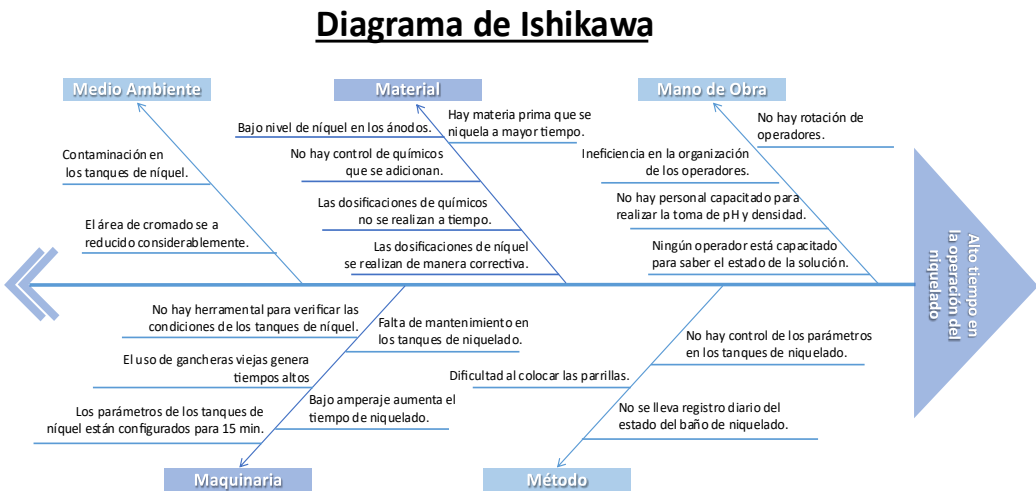
Figura 15. *Lluvia de ideas: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado.*

Causas potenciales: Alto tiempo en la operación del niquelado (Lluvia de ideas)			
Manager de cromado		Líder de línea de cromado	Control de calidad de Línea
Maquinaria Obsoleta		El área de cromado se ha reducido considerablemente.	No hay herramental para verificar las condiciones de los tanques de niquelado. No hay personal capacitado para realizar la toma de pH y densidad.
Bajo nivel de níquel en los ánodos		La falta de mantenimiento en los tanques de niquelado genera tiempos altos.	
No hay control de los parámetros en los tanques de niquelados		Bajo amperaje aumenta el tiempo de niquelado.	
Ineficiencia en la organización de los operadores.		Hay materia prima que se niquela a mayor tiempo.	
No hay rotaciones de operadores		Contaminación en los tanques de níquel.	
No hay control de químicos que se adicionan en los tanques de níquel		No se lleva registro diario del estado del baño de niquelado.	
		Dificultad al colocar las parrillas.	
		Ningún operador está capacitado para saber el estado de la solución de los tanques.	

2.4.2 Diagrama de Ishikawa

Definidas las causas potenciales, se elaboró un diagrama de Ishikawa para clasificar dichas causas en los siguientes factores: Medio ambiente, Material, Mano de obra, Maquinaria y Método, teniendo como problema el alto tiempo en la operación de niquelado (figura 16). A su vez, esto permitió enfocar los esfuerzos en aquellos factores específicos que tienen un mayor impacto en el problema y donde será posible identificar la causa raíz.

Figura 16. *Diagrama Ishikawa: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado.*



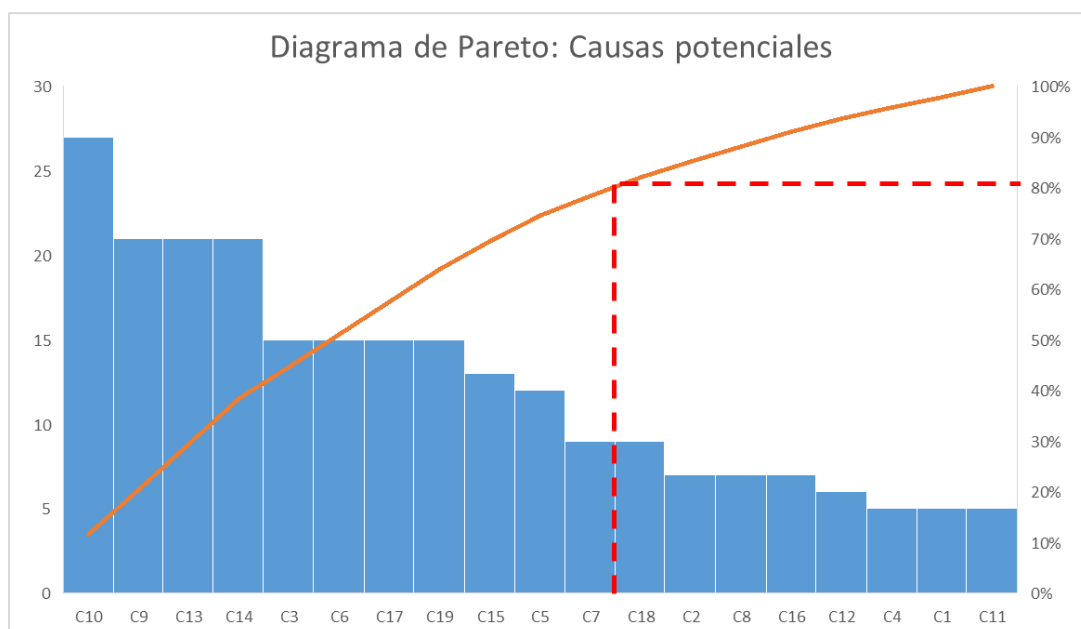
2.4.3 Matriz Causa – Efecto

Una vez clasificada las causas potenciales se priorizaron por medio de la matriz causa efecto en conjunto con el equipo del proyecto, donde cada uno de los actores puntuó las causas potenciales con los siguientes puntajes: 0 Ningún impacto, 1 Bajo impacto, 3 Medio impacto, 9 Alto impacto, de tal manera que se pudieran identificar las causas potenciales que tienen mayor impacto en el alto tiempo de niquelado (apéndice 3), enfocando el análisis correspondiente para poder reducir el número de causas potenciales.

2.4.4 Diagrama Pareto

Se elaboró el diagrama de Pareto para identificar de manera visual las causas potenciales con mayor impacto en el problema (figura 17), según lo definido en la matriz causa-efecto. Aplicando la regla del 80/20, el análisis se enfocó únicamente en el grupo de causas que obtuvo los puntajes más altos, es decir, aquellas que generan el mayor efecto sobre el alto tiempo en la operación de niquelado.

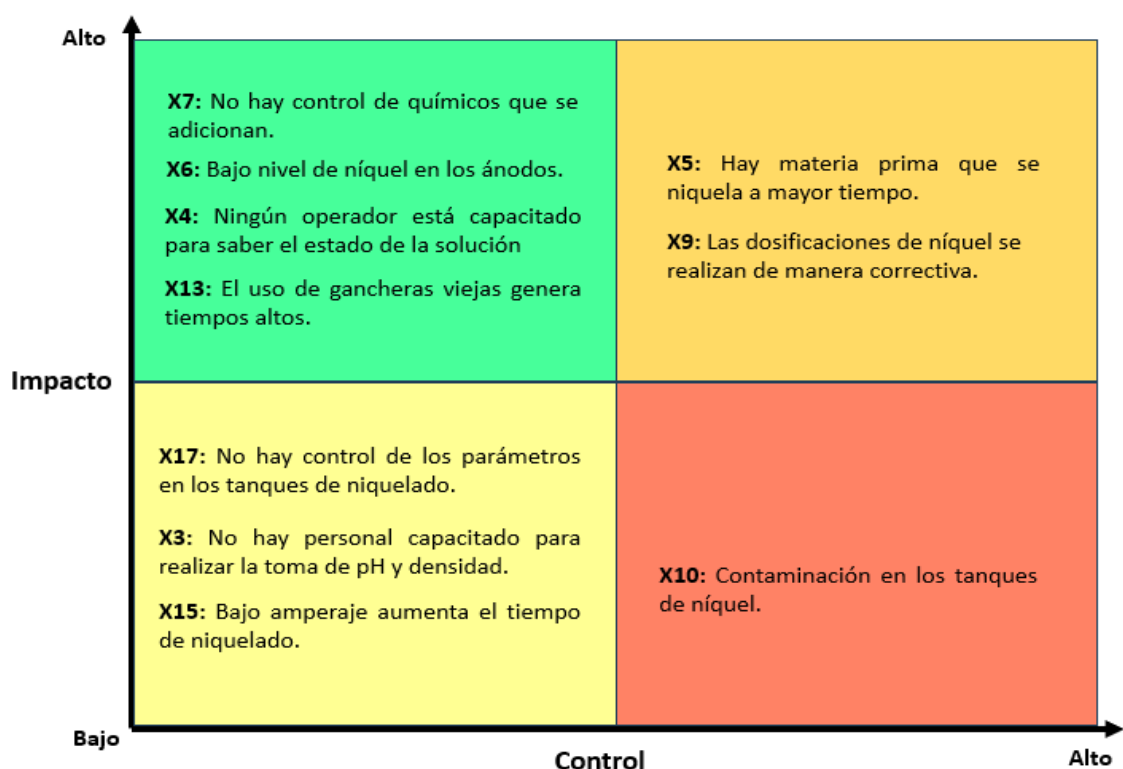
Figura 17. *Diagrama Pareto: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado.*



2.4.5 Diagrama Impacto – Control

A través de este diagrama se logró clasificar las causas potenciales más relevantes identificadas en el diagrama de Pareto. Una vez clasificadas, se priorizaron cuatro causas potenciales, las cuales se muestran en la figura 18, debido a que presentan un alto impacto en el problema y, además, requieren un bajo control. Esta priorización permitió enfocar los esfuerzos en estas causas.

Figura 18. *Diagrama Impacto – Control: Causas potenciales de los altos tiempos de niquelado.*



2.4.6 Plan de verificación de causas

El plan de verificación de causas en el apéndice 4, se utilizó para verificar las causas potenciales: X7, X6, X4 y X13. En el mismo, se detallan campos como la teoría del impacto en la variable Y, donde se plantean hipótesis de cómo las causas afectan directamente el problema. Por otro lado, se muestra cómo se realizó la verificación, la observación directa, contrapruebas y entrevistas con los proveedores externos e involucrados.

Por medio del plan de recolección se obtuvo la siguiente información para cada una de las causas potenciales detalladas en el mismo:

- ***C14 – Los parámetros de los tanques de níquel están configurados para 15 min:***

Los parámetros de los tanques de níquel están configurados para 15 minutos, con esto se logró validar los datos recopilados, no obstante, como se mencionó previamente la configuración de tiempo puede reducirse hasta 10 minutos, según Beckwith (2023) en el texto de Electroplating Engineering Handbook. En la tabla 5 se muestra una comparativa de los parámetros utilizados en la empresa y los datos teóricos.

Parámetros	Compañía	Teóricos	Tabla 5.
Tiempo (minutos)	15 - 20	10 - 20	
Temperatura (Centígrados)	50 - 70	50 - 65	
Potencial de Hidrogeno (PH)	3.9 - 4.6	3.5 - 5	
Densidad de corriente (A/dm ²)	5 - 8	2 - 8	
Voltaje (v)	6 - 12	2 - 8	
Espesor de níquel (μm)	15 - 25	10 - 25	

Parámetros de niquelado.

- ***C6 – Bajo nivel de níquel en los ánodos:*** Los ánodos son los electrodos positivos del proceso y son los encargados de suministrar el níquel, por medio de una contraprueba con ánodos con un nivel de níquel de 6k y 10kg de níquel (figura 19) donde se tomó los tiempos de la operación (lote 57 unidades), obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados contraprueba: C6 – Bajo nivel de níquel en los ánodos.

Operación Niquelado		
Tiempo (min)		
	Ánodo 10 kg	Ánodo 6 kg
	14,75	17,20
	15,10	17,10
	14,90	16,90
	15,22	17,30
	15,02	17,91
	15,16	17,50
	14,93	17,62
	15,16	15,83
	15,07	17,73
	15,50	17,92
Tiempo Promedio (min)	15,08	17,30

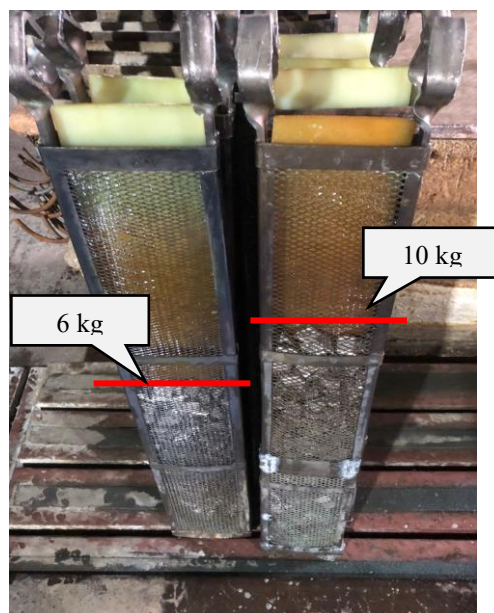


Figura 19. Contraprueba: Nivel de níquel en los ánodos.

- **C7 – No hay control de químicos que se adicionan:** La adición de químicos se realiza conforme a los análisis químicos del proveedor, estos se hacen 1 vez a la semana y según estos resultados se aplican las adiciones en dosificaciones pasando 1 día, para comprobar esta causa se utilizó una contraprueba donde se tomaron los tiempos de la operación (lote 57 unidades) luego de una dosificación realizada normalmente por los operadores y una dosificación controlada como recomienda el proveedor (figura 20) los resultados se muestran en la tabla 7.

Figura 20. Contraprueba: Nivel de níquel en los ánodos.



Tabla 7. Resultados contraprueba: C7 – No hay control de químicos que se adicionan.

Operación Niquelado	
Tiempo (min)	
Adición Controlada	Adición sin Control
15,02	16,92
14,80	16,20
15,10	15,75
14,95	16,10
15,30	16,50

	15,05	15,70
	14,90	16,30
	15,20	15,88
	14,85	16,00
	15,00	16,95
Tiempo promedio (min)	15,02	16,23

- **C13 - El uso de gancheras viejas genera tiempos altos:** Las gancheras son ganchos elaborados a partir de un alambre de cobre de 3 mm de diámetro, que se utilizan para transmitir la corriente a las parrillas que se encuentran en el tanque de níquel, para verificar esta causa se realizó una contraprueba con gancheras nuevas recién elaboradas y gancheras viejas con alrededor de 1 mes de uso (figura 21) donde se tomaron los tiempos de niquelado (lote 57 unidades) los resultados se muestran en la tabla 8.

Figura 21. Contraprueba: Gancheras.



Tabla 8. *Resultados contraprueba: C13 - El uso de gancheras viejas genera tiempos altos.*

Operación Niquelado		
Tiempo (min)		
Gancheras	Gancheras	
Nuevas	Viejas	
14,75	16,50	
14,90	16,90	
15,00	16,80	
14,70	15,95	
14,85	16,69	
15,05	16,27	
14,80	16,75	
14,95	15,85	
15,10	15,95	
14,90	16,96	
Tiempo promedio (min)	14,90	16,46

En conclusión, se comprobó que las cuatro causas potenciales definidas afectan directamente en el alto tiempo en la operación de niquelado, con un impacto promedio aproximado de 1,5 minutos. Posterior a esta verificación, se procedió a realizar el respectivo análisis para identificar la causa raíz de cada una de estas causas potenciales por medio de la herramienta 5 porqués.

2.4.7 Herramienta 5 porqués

Tabla 9. *Herramienta 5 porqués: Causas potenciales alto tiempo de niquelado*

Código	C14	C6	C7	C13
Causa Potencial	Los parámetros de los tanques de níquel están configurados para 15 min.	Bajo nivel de níquel en los ánodos.	No hay control de químicos que se adicionan.	El uso de gancheras viejas genera tiempos altos.
¿Por qué?	Porque desde el inicio del proyecto no se actualizó el tiempo de operación recomendado por los proveedores.	Porque las reposiciones de níquel no se hacen en el momento adecuado.	No hay un registro de las adiciones operaciones.	Debido a que no transmiten la corriente eléctrica de manera eficiente
¿Por qué?	Porque se utilizó como base la capacidad inicial de los equipos sin considerar cambios a futuro.	Porque se hacen adiciones sin un criterio técnico establecido.	Porque el operador no dispone de tiempo suficiente para registrar y controlarlas adiciones	Hay mal contacto entre la ganchera y la parrilla

<i>¿Por qué?</i>	Porque no se	Porque no hay	El operador que	
	ajustaron los	control estricto ni	realiza la adición	Debido al
	parámetros con el	alguien definido	no puede	recubrimiento de
	tiempo,	para llevar un	descuidar sus	níquel que se
	pese a mejoras en los	control sobre los	demás actividades	forma en las
	equipos	niveles de níquel	en el proceso.	gancheras.

Por medio del análisis de los 5 porque, se definió las causas raíz de cada causa potencial obteniendo lo siguiente:

- C14: Los parámetros de los tanques de niquelado no han sido ajustados a lo largo del tiempo, a pesar de las mejoras implementadas en los equipos.
- C6: Actualmente, no se cuenta con un control, ni con un responsable definido para el seguimiento de los niveles de níquel.
- C7: El operador encargado de realizar la adición no puede desatender sus demás actividades dentro del proceso.
- C13: El recubrimiento de níquel que se forma en las gancheras.

En el apéndice 5 se muestra el análisis de causa raíz, donde se proponen distintas soluciones en función de las causas identificadas las cuales serán evaluadas en el capítulo 3 para seleccionar las más adecuadas que permitan eliminar la causa raíz.

Capítulo 3

3 Resultados y Análisis

3.1 Mejora

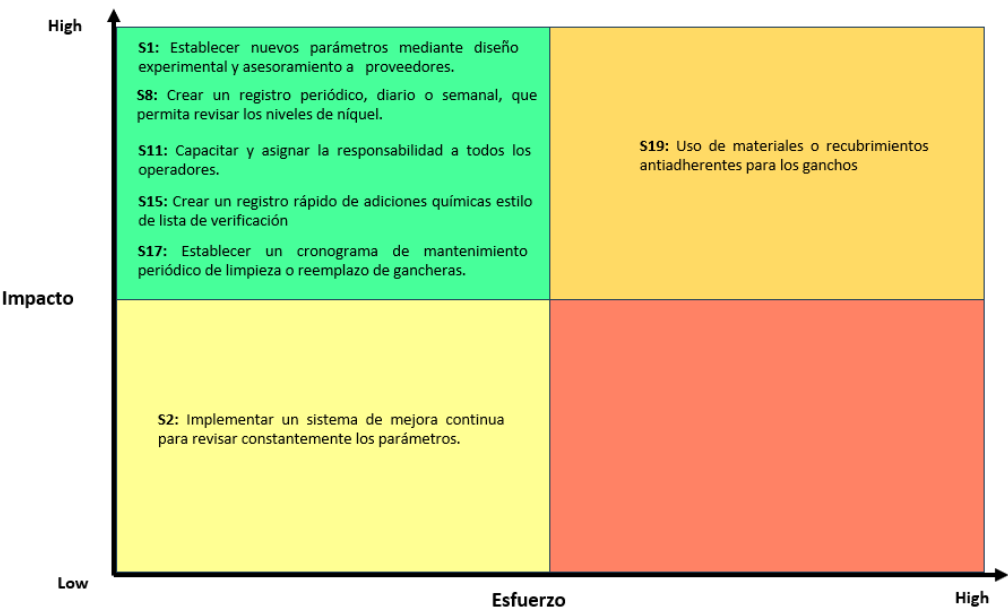
Se diseñó y priorizó las posibles soluciones, las mismas que se evaluaron con herramientas como la matriz causa-efecto y el diagrama impacto-esfuerzo considerando su viabilidad económica y se elaboró un cronograma para la respectiva implementación de las soluciones.

3.1.1 Soluciones

Una vez definidas las posibles soluciones para cada causa raíz, se realizó los análisis correspondientes para determinar las soluciones que eliminen las causas raíz. Esto se llevó a cabo con el equipo del proyecto, evaluando distintos puntos de vista y la factibilidad de implementación. Para la priorización, se empleó la matriz causa-efecto (Apéndice 6), con la participación del gerente de operaciones, esto debido a los costos asociados a la implementación de las potenciales soluciones.

Priorizadas las soluciones potenciales, se elaboró el diagrama Impacto-Esfuerzo para identificar aquellas con alto impacto en la resolución del problema y bajo esfuerzo de implementación (figura 22).

Figura 22. Potenciales soluciones de los altos tiempos de niquelado.



La tabla 10 presenta las soluciones propuestas para cada causa raíz y sus causas potenciales correspondientes mostrando la relación que existen entre ellas.

Tabla 10. Soluciones Propuestas

	Causa Potencial	Causa raíz		Solución Propuesta
X14	Los parámetros de los tanques de níquel están configurados para 15 min.	No se han ajustaron los parámetros de los tanques de níquel con el tiempo, pese a mejoras en los equipos.	S1	Establecer nuevos parámetros mediante diseño experimental y asesoramiento de proveedores.
X6	Bajo nivel de níquel en los ánodos.	No hay control estricto ni alguien definido para llevar un control sobre los niveles de níquel	S8	Crear un registro de verificación diario o semanal para verificar y recargar los niveles de níquel según el consumo.
X7	No hay control de químicos que se adicionan.	El operador que realiza la adición no puede descuidar sus demás actividades en el proceso.	S11	Capacitar y asignar las actividades de control del proceso a todos los operadores.
			S15	Crear un formulario de adiciones químicas estilo de lista de verificación.
X13	El uso de gancheras viejas genera tiempos altos.	El recubrimiento de níquel que se forma en las gancheras.	S17	Programar un mantenimiento periódico para limpiar o reemplazar las gancheras.

3.1.2 Análisis de costos de implementación de mejoras.

Se realizó un análisis de costos para la implementación de cada solución propuesta, considerando exclusivamente el costo de implementación. Esto incluyó la estimación de las inversiones iniciales, el detalle de las actividades a realizar, el costo unitario por hora, el número de horas requeridas y la cantidad de operadores necesarios.

Además, se incorporó el costo asociado al paro de maquinaria, específicamente al de los tanques de niquelado.

- S1: Establecer nuevos parámetros mediante diseño experimental y asesoramiento de proveedores. La tabla 11 destaca la actividad de pruebas de calidad, la cual no genera costos, ya que será realizada por los proveedores, dentro de los contratos actuales se detalla que no generan cargos adicionales. El costo total estimado para esta solución es de \$554,07.

Tabla 11. *Análisis de Costo Solución 1.*

Actividades	Costos Unitarios por hora	Número de hora	Número de operadores	Costo total
Diseño experimental en un tanque de niquelado.	\$ 1,96	10	3	\$ 58,80
Capacitación de los operadores que realizaran el diseño experimental.	\$ 1,96	1,5	3	\$ 8,82
Pruebas de calidad: cámara salina.	0	72	-	-
Costos de improductividad.	\$ 42,30	11,5	-	\$ 486,45
Costo total				\$ 554,07

- S8: Crear un registro de verificación diario o semanal para verificar y recargar los niveles de níquel según el consumo, tiene un costo de implementación total de \$276.17 (Tabla12).

Tabla 12. *Análisis de Costo Solución 8.*

Actividades	Costos Unitarios por hora	Número de hora	Número de operadores	Costo total
Creación del registro de verificación.	\$ 2,92	2	1	\$ 5,84
Capacitación a los operadores sobre el correcto uso del registro.	\$ 1,96	1,5	7	\$ 20,58
Costos de improductividad	\$ 166,50	1,5	-	\$ 249,75

Costo total	\$ 276,17
-------------	-----------

- S11: Capacitar y asignar las actividades de control del proceso a todos los operadores, tiene un costo total de \$276.17 (Tabla 13).

Tabla 13. *Análisis de Costo Solución 11.*

Actividades	Costos Unitarios por hora	Número de hora	Número de operadores	Costo total
Creación de cronograma de rotación de tareas	\$ 2,92	2	1	\$ 5,84
Capacitación a los operadores sobre el correcto uso cronograma de rotación de tareas	\$ 1,96	1,5	7	\$ 20,58
Costos de improductividad	\$ 166,50	1,5	-	\$ 249,75
Costo total				\$ 276,17

- S15: Crear un formulario de adiciones químicas estilo de lista de verificación, tiene un costo total de \$576,17 (Tabla 14), destacando la compra de una Tablet, necesaria para completar el formulario en línea mediante Google Forms.

Tabla 14. *Análisis de Costo Solución 15.*

Actividades	Costos Unitarios por hora	Número de hora	Número de operadores	Costo total
Creación del formulario de verificación	\$ 2,92	2	1	\$ 5,84
Compra de recurso tecnológico (Tablet)	-	-	-	\$ 300,00
Capacitación a los operadores sobre el correcto uso del formulario	\$ 1,96	1,5	7	\$ 20,58
Costos de improductividad	\$ 166,50	1,5	-	\$ 249,75
Costo total				\$ 576,17

- S17: Programar un mantenimiento periódico para limpiar o reemplazar las gancheras, tiene un costo total de \$523,33 (Tabla 15). Sin embargo, es importante considerar que podrían generarse costos adicionales por la actividad de limpieza de las gancheras. Una vez definido el método a utilizar, será necesario evaluar el costo de dicha limpieza y la frecuencia con la que deberá realizarse.

Tabla 15. *Análisis de Costo Solución 17.*

Actividades	Costos Unitarios por hora	Número de hora	Número de operadores	Costo total
Identificar la frecuencia de utilidad de las gancheras.	\$ 2,92	10	2	\$ 58,40
Definir nuevos métodos de limpieza de gancheras	\$ 2,92	10	2	\$ 58,40
Compra de material para definir nuevos métodos de limpiezas de gancheras	-	-	-	\$ 150,00
Creación del plan de mantenimiento para remplazo de gancheras.	\$ 2,92	2	1	\$ 5,84
Capacitación a los operadores sobre identificación de en gancheras en mal estado	\$ 1,96	1,5	7	\$ 2,94
Costos de improductividad	\$ 166,50	1,5	-	\$ 249,75
Costo total				\$ 525,33

3.1.3 Implementación de soluciones propuestas.

La implementación de las soluciones se llevó a cabo por medio del plan de implementación de soluciones (apéndice 7), que tuvo como objetivo establecer las acciones necesarias para garantizar la correcta ejecución y alcanzar los resultados esperados para cada propuesta. En este se especificó el propósito de cada solución, lugar

y momento de su ejecución, la forma de llevarlo a cabo y el responsable de dar el respectivo seguimiento.

3.1.3.1 S1: Establecer nuevos parámetros mediante diseño experimental y asesoramiento de proveedores.

El diseño experimental se realizó en Minitab Statistical Software, permitiendo definir los factores que tienen mayor impacto en el tiempo de la operación de niquelado: densidad de corriente representada por el amperaje y concentración de níquel representado por el nivel de níquel en los ánodos. Inicialmente también se consideró la temperatura; sin embargo, se descartó como factor, debido a que no puede ser controlada por las limitaciones de los calentadores, manteniéndose constante en 60 °C. Por otro lado, para establecer los niveles de los factores seleccionados, se realizaron reuniones con el proveedor encargado del análisis de los tanques de niquelado, en las cuales se definieron los niveles que presenten limitaciones en los equipos del proceso (tabla 16).

Tabla 16. *Factores y niveles del diseño experimental.*

Factores por evaluar	Niveles por evaluar		
	Alto	Medio	Bajo
Amperaje (Amperios)	1050	850	650
Nivel de níquel en los ánodos (Kilogramos)	10	11	12

Se determinó que el diseño factorial es 3^2 . Dado que no se cuenta con datos previos de estas combinaciones, se realizaron 3 réplicas con el fin de garantizar la veracidad de los resultados, obteniendo un total de 27 corridas experimentales.

Debido a las limitaciones por la producción contante se decidió realizar el diseño experimental en un tanque de niquelado el cual fue el tanque 3, debido a que tiene el menor porcentaje de defectos entre los 4 tanques de niquelado (apéndice 8).

En el apéndice 9, se presentan los resultados de las corridas del diseño experimental, en el cual consideró dos variables: el tiempo de operación de niquelado y el porcentaje de parrillas defectuosas. A través de una regresión factorial general, con las variables $Y1$ = tiempo de niquelado (min) y $Y2$ = porcentaje de defectos, en función del amperaje (A) y del nivel de níquel (kg), se obtuvo el análisis de varianza y la ecuación de regresión (figura 23). A partir de este análisis se concluyó lo siguiente:

- *Modelo:* Con un valor $F = 109,22$ y $p = 0,000$ altamente significativo, demostrando que los factores y sus interacciones explican de manera robusta la variación en el Tiempo de niquelado ($Y1$).
- *Análisis de Covariable:* $Y2$ = Porcentaje de defectos con un valor $p = 0,980$ es decir que no es significativo, por tanto, no influye directamente en el tiempo de niquelado considerándose independiente.
- *Amperaje (A):* Con un $p = 0,000$ tiene un efecto significativo en el tiempo de niquelado.
- *Nivel de níquel (B):* Con un $p = 0,000$ afecta significativamente al tiempo de niquelado.
- *Interacción:* Amperaje - Nivel de níquel $p = 0,000$ existe una interacción estadísticamente significativa, el efecto del amperaje sobre el tiempo depende del nivel de níquel, y viceversa.
- *Error ($MC = 0,07096$):* Significa que el modelo explica la variación del tiempo de niquelado.

Figura 23. Diseño experimental: Análisis de varianzas y ecuación de regresión.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	69,7567	7,75075	109,22	0,000
Covariables	1	0,0000	0,00005	0,00	0,980
Y2=Porcentaje de defectos	1	0,0000	0,00005	0,00	0,980
Lineal	4	21,8514	5,46284	76,98	0,000
Amperaje (A)	2	13,6985	6,84926	96,52	0,000
Nivel de niquel (Kg)	2	5,4590	2,72948	38,46	0,000
Interacciones de 2 términos	4	2,8606	0,71515	10,08	0,000
Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)	4	2,8606	0,71515	10,08	0,000
Error	17	1,2064	0,07096		
Total	26	70,9631			

Ecuación de regresión	
$Y1 = \text{Tiempo de niquelado (min)} = 13,365 - 0,5 Y2 = \text{Porcentaje de defectos}$ $+ 1,732 \text{ Amperaje (A)}_{1050} - 0,022 \text{ Amperaje (A)}_{850}$ $- 1,71 \text{ Amperaje (A)}_{650} - 0,946 \text{ Nivel de niquel (Kg)}_{12}$ $+ 0,3881 \text{ Nivel de niquel (Kg)}_{11}$ $+ 0,558 \text{ Nivel de niquel (Kg)}_{10}$ $+ 0,139 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{1050\ 12}$ $+ 0,288 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{1050\ 11}$ $- 0,427 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{1050\ 10}$ $+ 0,074 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{850\ 12}$ $- 0,560 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{850\ 11}$ $+ 0,486 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{850\ 10}$ $- 0,213 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{650\ 12}$ $+ 0,273 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{650\ 11}$ $- 0,060 \text{ Amperaje (A)*Nivel de niquel (Kg)}_{650\ 10}$	

Al contar con dos variables de salida en el diseño experimental, se realizó una optimización con el objetivo de determinar los niveles de los factores que permitan minimizar tanto el tiempo de niquelado como el porcentaje de parrillas defectuosas (figura 24). Como resultado, se identificó que el nivel óptimo para el amperaje es de 850 amperios, mientras que el nivel de níquel en los ánodos es de 12 kilogramos, logrando un tiempo de niquelado de 12,45 minutos y un porcentaje de defectos del 0,9%, esto se puede apreciar de manera gráfica en la figura 25.

Figura 24. Optimización de minimización: Diseño experimental.

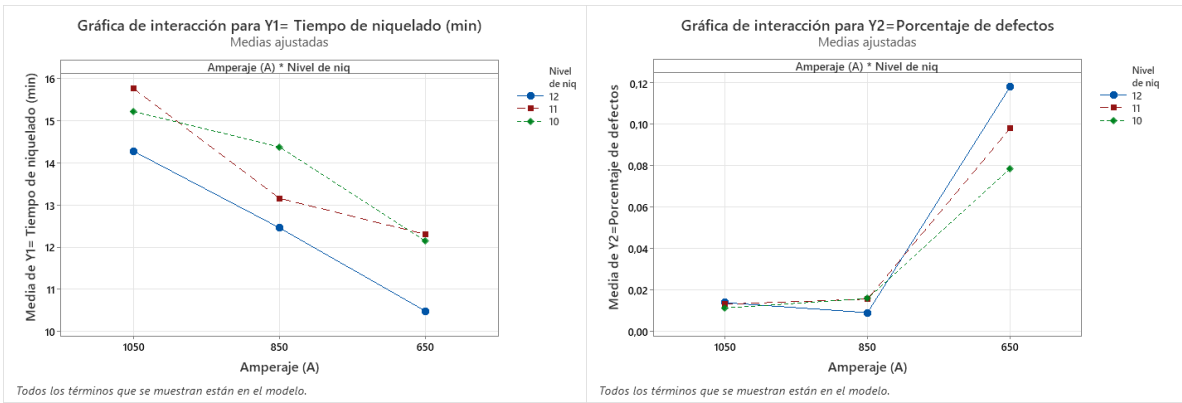
Optimización de respuesta: Y1= Tiempo de niquelado (min); Y2=Porcentaje de defectos

Parámetros						
Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Y1= Tiempo de niquelado (min)	Mínimo		10,330	15,9100	1	1
Y2=Porcentaje de defectos	Mínimo		0,008	0,1188	1	1

Rangos de variables	
Variable	Valores
Amperaje (A)	1050; 850; 650
Nivel de níquel (Kg)	12; 11; 10
Y2=Porcentaje de defectos	0,0415

Solución						
Solución	Amperaje (A)	Nivel de níquel (Kg)	Y2=Porcentaje de defectos	Y1= Tiempo de niquelado (min) Ajuste	Y2=Porcentaje de defectos Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	850	12	0,0415	12,4515	0,009	0,783718

Figura 25. Diseño experimental: Factores óptimos.



3.1.3.2 S8: Crear un registro de verificación diario o semanal para verificar y recargar los niveles de níquel según el consumo.

Para la solución 8, se estableció que el registro de verificación de los niveles de níquel será realizado de manera diaria (figura 26), considerando la importancia de este factor que se evidenció en el diseño experimental, se determinó un valor óptimo de 12 kilogramos de níquel por ánodo. Este registro fue vinculado al programa de producción, en el cual se detallan las cantidades procesadas diariamente, permitiendo calcular el consumo de níquel en función del número de parrillas cromadas diarias. Asimismo, en el

registro se verifica la cantidad de níquel añadida y el nombre del operador responsable de la adición. De esta manera, se garantiza el mantenimiento constante del nivel de 12 kilogramos de níquel en los ánodos.

Figura 26. Registro de verificación de los niveles de níquel.

REG-CR-008 Version 1.0


Registro de verificación de los niveles de Níquel

Fecha 20/8/2025

Tanque 1					
Codigo	Descripcion	Producción/hora	Horas	Producción Total	Consumo de níquel KG
90006385	Parrilla de horno30 Zf	40	10	400	8
Total KG de níquel a adicionar					8

Tanque 2					
Codigo	Descripcion	Cantidad/hora	Horas	Produccion Total	Consumo de níquel KG
90006385	Parrilla de horno30 Zf	50	10	500	10
Total KG de níquel a adicionar					10

Tanque 3					
Codigo	Descripcion	Cantidad/hora	Horas	Produccion Total	Consumo de níquel KG
90006385	Parrilla de horno30 Zf	50	10	500	10
Total KG de níquel a adicionar					10

Tanque 3					
Codigo	Descripcion	Cantidad/hora	Horas	Produccion Total	Consumo de níquel KG
90006385	Parrilla de horno30 Zf	50	10	500	10
Total KG de níquel a adicionar					10

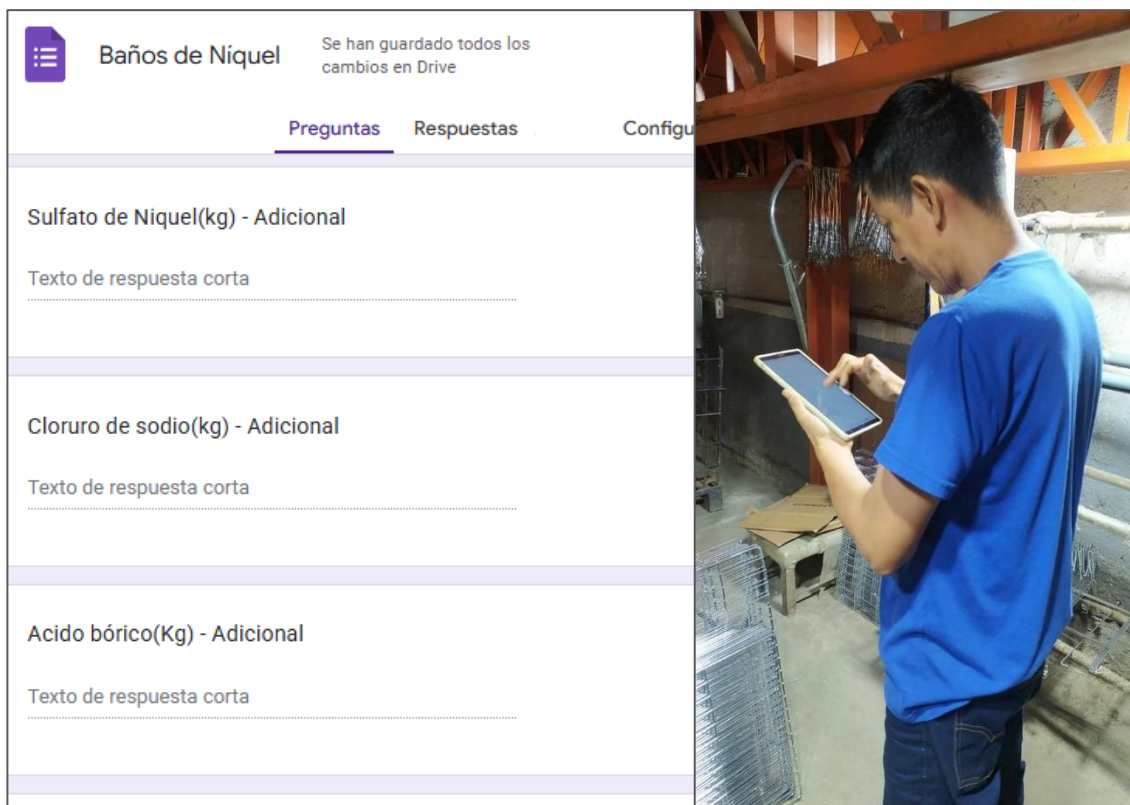
Responsable: Níquel Adicionado:

3.1.3.3 S15: Crear un formulario rápido de adiciones químicas estilo de lista de verificación.

El formulario de registro de adiciones químicas se creó en Google Forms (figura 27), debido a que se identificó como causa del problema a la falta de tiempo de los operadores para anotar manualmente dichas adiciones. Con el uso de esta herramienta y el apoyo de una Tablet para su llenado, se logró registrar de manera eficiente toda la información requerida. El formulario permite seleccionar de forma rápida una lista desplegable de los kilogramos de los diferentes químicos adicionados, así como registrar

automáticamente la fecha, hora y el nombre del operador responsable. De esta manera, se facilita el monitoreo y control de las adiciones químicas.

Figura 27. Registro de adición de químicos: Baños de níquel.



3.1.3.4 S17: Programar un mantenimiento periódico para limpiar o reemplazar las gancheras.

Para la solución 17, se definió el periodo de vida útil de las gancheras de tres semanas, dado que en este lapso se acumula un recubrimiento aproximado de 20 gramos de níquel. Esta acumulación impide que la densidad de corriente (amperaje) se distribuya uniformemente sobre toda la parrilla, lo que provoca un incremento en el tiempo de niquelado. Una vez definido el periodo de reemplazo, se evaluó la posibilidad de implementar un proceso de limpieza para las gancheras, considerando que actualmente estas son descartadas de manera empírica. Para este análisis se llevó a cabo reuniones con

los proveedores, a partir de las cuales se identificaron las siguientes opciones como las más viables:

- Limpieza mecánica:** Consistía en el lijado manual de cada ganchera por medio de lijas o pulidora, que dificultaba el proceso, ya que debía realizarse de manera individual. Además, durante el lijado se producía la pérdida parcial del alambre de cobre que conforma el gancho. Por estas razones, el método de limpieza mecánica fue descartado.
- Limpieza química por decapado:** Se trata de la preparación de una solución química a base de ácido sulfúrico, peróxido de hidrógeno y agua destilada. Debido a la complejidad en la manipulación de estos reactivos, el procedimiento fue delegado a los proveedores, a quienes se envió una muestra de 70 ganchos con tres semanas de uso que estaban próximos a ser desechados (05/08/2025). Los resultados obtenidos fueron favorables (figura 28). En función de ello, se definió que el proceso de decapado se realizará en un volumen de **20 litros**.

Figura 28. Evaluación de la implementación decapado de níquel: Proveedor.

LABORATORIO ANALÍTICO				
Fecha de Recibido:	2025-08-05			
Cliente:	TRANSARC			
Muestra de:	BAÑO DE DECAPADO DE NIQUEL			
Motivo de Análisis:	IMPLEMENTACION			
Capacidad del tanque:	20 LITROS			
Componente	Cantidad (Litros)	Precio estimado Unitario	Costo total estimado	
Ácido sulfúrico 98%	2,2	\$ 2,67	\$	5,87
Peróxido de hidrógeno 35%	1	\$ 2,33	\$	2,33
Agua destilada	18	\$ 0,12	\$	2,12
Total estimado			\$	10,32
Capacidad del tanque:	PARA 70 GANCHOS CON UNA ADICION DE 20 GRAMOS DE NIQUEL			
ELABORADO POR		REVISADO POR		AUTORIZADO POR
Jefe: 		Jefe: 		SR. 
		LABORATORIO		GERENTE TÉCNICO

3.1.3.5 S:11 Capacitar y asignar las actividades de control del proceso a todos los operadores.

La solución S11 fue la última en ser implementada, ya que su ejecución dependió directamente de las soluciones S8, S15 y S17. Estas tres soluciones corresponden a controles aplicados a los tanques de niquelado, cuyo propósito es reducir la variabilidad del proceso. Una vez las soluciones estuvieron completamente operativas, se procedió con la integración de S11, que comenzó con la elaboración de un cronograma de asignación de actividades de control (figura 29), el cual fue diseñado para rotar las tareas entre los operadores del área de cromado. Esta rotación permitió distribuir equitativamente la carga laboral, evitando que recaiga en un solo operador. Además, se registró la ejecución de cada actividad en los registros de control de las soluciones previamente mencionadas.

Figura 29. Cronograma de asignación de actividades de control.



Plan de Asignación Semanal de Actividades de Cromado

		O1:	_____
		O2:	_____
		O3:	_____
		O4:	_____
		O5:	_____
		O6:	_____
		O7:	_____

A1:	Adición de níquel en los tanques de niquelado
A2:	Adición de químicos en los tanques de niquelado
A3:	Limpieza de gancheras

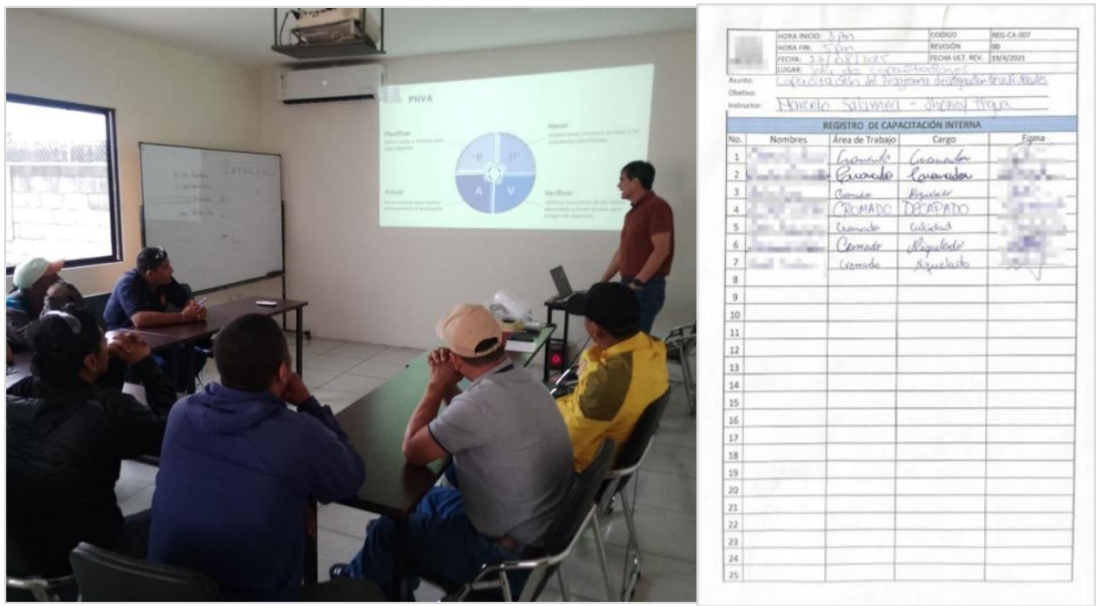
Objetivo: Mostrar la rotación semanal de actividades (A1, A2, A3) entre los operadores																	
Operador	Semana fiscal 34	Semana fiscal 35	Semana fiscal 36	Semana fiscal 37	Semana fiscal 38	Semana fiscal 39	Semana fiscal 40	Semana fiscal 41	Semana fiscal 42	Semana fiscal 43	Semana fiscal 44	Semana fiscal 45	Semana fiscal 46	Semana fiscal 47	Semana fiscal 48	Semana fiscal 49	Semana fiscal 50
O1	A1			A2			A1			A1			A2			A1	
O2	A2			A1			A2			A2			A1			A2	
O3		A1			A2			A1			A1			A2			A1
O4		A2			A1			A2			A2			A1			A2
O5			A1			A2			A3			A1			A2		
O6			A2			A3			A1			A2			A3		
O7			A3			A1			A2			A3			A1		

CÓDIGO	REVISIÓN	FECHA
PL-CR-001	01	12/8/2025

Adicionalmente, se llevó a cabo una capacitación dirigida por el jefe de producción (figura 30), orientada a los operadores del área de cromado con el objetivo de destacar la importancia del plan de asignación de actividades, abordando tanto su correcto uso como la interpretación de este. Durante la sesión, se explicó cómo este plan

contribuye a mejorar la eficiencia del proceso, optimizando la distribución de tareas y el control operativo. La capacitación fue diseñada para llegar de manera efectiva a los operadores, aprovechando su experiencia práctica en el área permitiendo una mejor comprensión de los beneficios del plan asegurando una implementación más sólida y sostenible.

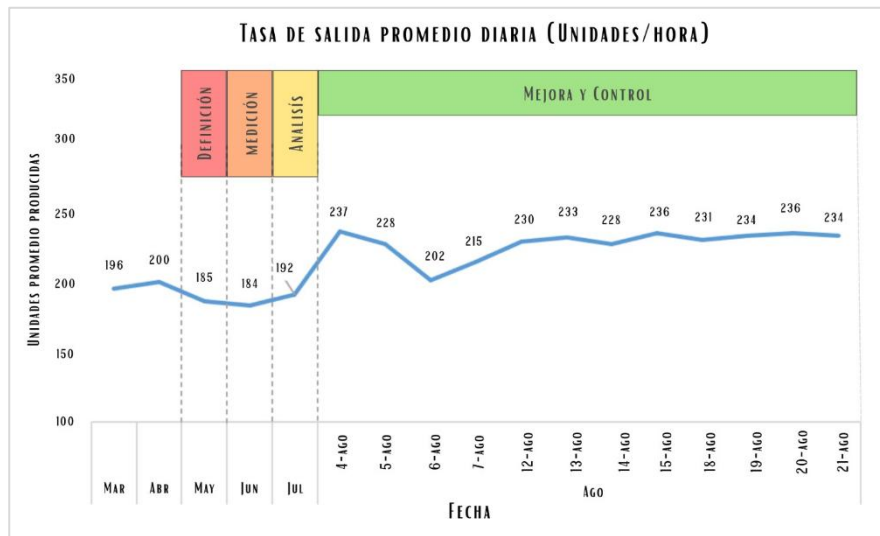
Figura 30. Capacitación sobre el plan de asignación de actividades de control.



3.1.4 Comparación de resultados: Antes vs Después.

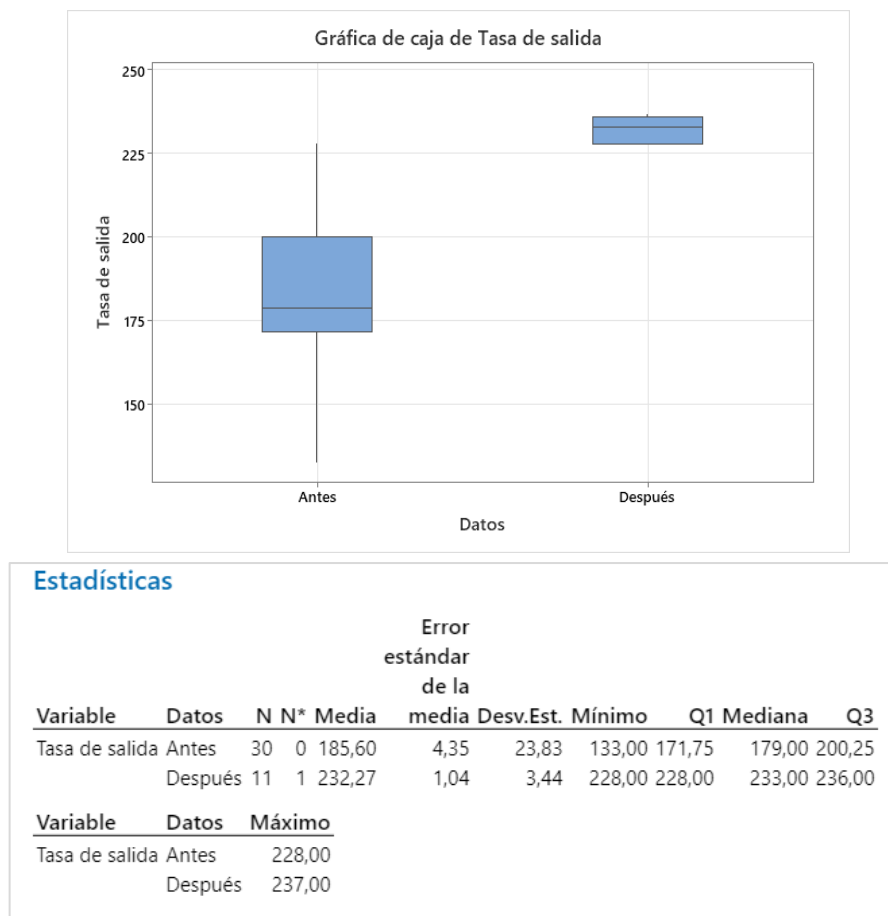
Una vez implementadas todas las soluciones propuestas, se evidenció un aumento significativo en la tasa de salida diaria en las parrillas de horno grandes con un incremento del 25%, pasando de 185 unidades por hora a 232 unidades por hora (ver figura 31) esto a partir del mes de agosto del 2025, donde se realizó la última capacitación al equipo de cromado.

Figura 31. Comparación de resultado: Tasa de salida diaria (unidades/hora) del proceso de cromado.



Esto se evidencia en la figura 32, en la que se presenta un análisis de caja que permite observar de manera visual la diferencia tanto en las medias como en la variabilidad del proceso antes y después de la mejora, el cual se complementa con los estadísticos descriptivos, que confirman los resultados obtenidos: la media de la tasa de salida se incrementó de 185 unidades/hora a 232 unidades/hora, mientras que la desviación estándar, que refleja la variabilidad del proceso, se redujo de 23.83 a 3.44, lo que representa una disminución del 85%. Estos hallazgos evidencian que el proceso no solo alcanzó un mayor nivel de productividad, sino que además se encuentra bajo un mayor control y con menor dispersión de los resultados (apéndice 10).

Figura 32. Comparación de resultado: Diagrama de cajas y análisis descriptivos.



3.1.5 Resultados: Triple Bottom Line

Se analizaron los resultados a través de los indicadores definidos en el triple bottom line, de tal manera que se puedan medir cuantitativamente.

3.1.5.1 Económico

- *Tasa de salida diaria promedio:* Al inicio del proyecto era de 185 unidades/hora, se esperaba un aumento del 23% no obstante se consiguió un aumento del 25% es decir de 232 unidades/hora.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Total de unidades producidas en el día (unidades)}}{\text{Número de horas trabajadas en el día (hora)}} \\
 &= \frac{1858 \text{ (unidades)}}{8 \text{ (hora)}} = 232 \text{ unidades/hora}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

- *Porcentaje de pedidos entregados con retraso:* Desde el mes de marzo del 2025 el porcentaje de pedidos con retrasos es del 75% luego de la implementación de las soluciones se obtuvo lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Número de pedidos entregados con retraso(mes)}}{\text{Número total de pedidos entregados(mes)}} * 100 \\
 &= \frac{1 \text{ (mes)}}{4 \text{ (mes)}} * 100 = 25\%
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

- *Espesor de níquel:* Para determinar el espesor de níquel se cuantificó el consumo de níquel por parrilla mediante la comparación del peso antes y después del proceso de cromado (apéndice 11), obteniéndose que, en promedio, por parrilla se adicionan 11,31 gramos de níquel, sobre un área de 1183 cm².

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Gramos de níquel adicionado}}{\text{área(cm}^2\text{)} * \text{densidad de níquel}} * 10000(\mu\text{m}) \\
 &= \frac{11,31 \text{ g}}{1183(\text{cm}^2) * 8.90 \text{ g/cm}^3} * 10000(\mu\text{m}) = 10.76 \mu\text{m}
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

Esto también se comprobó con el medidor de micras, obteniendo una lectura de 10,2 μm (figura 33), resultado que coincide con el cálculo realizado y demuestra que ambas mediciones son similares con una reducción del 31% aproximadamente.

Figura 33. Medición de micra mediante el medidor de micras.



3.1.5.2 Social

- *Porcentaje de operadores capacitados:* Luego de la implementación de las soluciones y las capacitaciones, se espera que los todos los operadores del área estén capacitados para realizar todas las actividades del área.

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Número de operadores capacitados}}{\text{Número total de operadores del área de cromado}} * 100 \\ &= \frac{7}{7} * 100 = 100\% \end{aligned} \quad (3.4)$$

3.1.5.3 Ambiental

- *Aguas residuales del proceso:* Debido a que el proyecto se centró en el área de niquelado, no se implementaron mejoras directas en el tratamiento de las aguas residuales del proceso, las cuales corresponden a un volumen aproximado de 3500 litros diarios. Sin embargo, se evidenció un impacto positivo, ya que al aumentar la tasa de salida es decir tener una mayor producción no se incrementó el volumen de aguas residuales, lo que representó una reducción del consumo de agua por unidad en un 20% (apéndice 12).

3.1.6 Plan de control

Para asegurar que las mejoras implementadas se sostengan, se elaboró un plan de control (apéndice 13), en el cual se detalla, para cada solución, el factor a controlar, el responsable de realizar dicho control, el método a emplear y la frecuencia con la que se llevará a cabo, resaltando el método de control los cuales son indicadores:

- *SI-Porcentaje de Cumplimiento de parámetros (P.C.P.):* Mide cuántas lecturas cumplen con los parámetros establecidos frente al total de lecturas realizadas.

$$P.C.P. = \frac{\text{Número de lecturas con los parámetros establecidos}}{\text{Número totales de lectura de parámetros}} * 100 \quad (3.5)$$

- *S8-Porcentaje de Cumplimiento de verificaciones y adiciones programadas (P.C.V.A.):* Evalúa cuántas verificaciones y adiciones realmente se ejecutaron respecto a las que estaban planificadas.

$$P.C.V.A. = \frac{\text{Número de verificaciones y adiciones realizadas}}{\text{Número de verificaciones y adiciones programadas}} * 100 \quad (3.6)$$

- *S11-Porcentaje de Cumplimiento del plan de asignación (P.C.P.A.):* Compara el número de actividades realizadas con las actividades programadas en el plan de asignación de actividades de control.

$$P.C.P.A. = \frac{\text{Número de actividades realizados}}{\text{Número de actividades programadas}} * 100 \quad (3.7)$$

- *S15-Porcentaje de Cumplimiento de adiciones (P.C.A.):* Calcula cuántas adiciones fueron registradas en comparación con las programadas.

$$P.C.A. = \frac{\text{Número de adiciones registradas}}{\text{Número de adiciones programadas}} * 100 \quad (3.8)$$

- *S17-Porcentaje de Cumplimiento del reemplazo de gancheras (P.C.R.G.):* Mide cuántos reemplazos de gancheras se realizaron frente a los que estaban programados.

$$P.C.R.G. = \frac{\text{Número de reemplazos realizados}}{\text{Número de reemplazos programados}} * 100 \quad (3.9)$$

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- La información recopilada por la empresa se validó mediante una prueba t-student de diferencia de medias con los datos recopilados en campo, donde se obtuvo un valor $p = 0,714$. Este resultado indicó que no existió evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, por lo que los datos se consideraron confiables y adecuados para el análisis del proceso.
- Se identificó que la operación de niquelado es el cuello de botella del proceso, debido a que esta limita la capacidad de producción y afecta directamente la tasa de salida diaria lo que permitió enfocar el análisis en esta operación.
- A través de la metodología de los “5 porqués” se determinaron cuatro causas raíz que incidieron en la baja tasa de salida y para cada causa se plantearon soluciones prácticas con el objetivo de reducir sus efectos en el problema.
- Se aumentó la tasa de salida diaria promedio en un 25% de 185 unidades/hora a 232 unidades/hora, lo que representa una ganancia neta por mes de \$6700, reduciendo el tiempo de la operación de niquelado de 16 minutos a 12.5 minutos.
- Se redujo el porcentaje de pedidos entregados con retraso al 25%, lo que significa que actualmente solo 1 de cada 4 órdenes de compra son entregadas con retraso. Al inicio del proyecto, el retraso alcanzaba el 75%, es decir, 3 de cada 4 órdenes eran entregadas con retraso.
- Al disminuir el tiempo de la operación de niquelado se redujo la capa de níquel de las parrillas en un 36.7% pasando de 17 μm en promedio a 10.76 μm .
- Se logró capacitar el 100% de los operadores en el área de cromado, con el fin de que todos puedan realizar las distintas actividades del proceso. Esto permitirá que la carga de trabajo se distribuya de forma uniforme entre el personal.

- Mediante el aumento de la tasa de producción, se logró reducir el consumo de agua por parrilla en un 20%, ya que el volumen de aguas residuales del proceso se mantuvo constante mientras se incrementó el número de parrillas fabricadas.

4.1.2 Recomendaciones

- Cumplir con la revisión de los indicadores de control de las soluciones en sus respectivas frecuencias, asegurando que las mejoras implementadas sean sostenibles en el tiempo.
- Realizar un estudio para analizar cómo las soluciones implementadas las parrillas de horno grandes impactan en los demás tipos de parrillas fabricadas en la empresa, con el fin de replicar los resultados obtenidos.
- Considerar todos los cambios que se realicen en el equipamiento y maquinaria del proceso de tal manera que se verifique el impacto que generan en las diferentes operaciones, garantizando la estabilidad del sistema productivo.
- Llevar a cabo un estudio que determine si los parámetros de las demás operaciones del proceso se encuentran trabajando a su máxima capacidad.

Bibliografía

Abel Beckwith. (2023). *Electroplating Engineering Handbook*. EE. UU.: Clanrye International.

James E. Stoddard, Carol E. Pollard, Michael R. Evans. (2012). The Triple Bottom Line: A Framework for Sustainable Tourism Development. *International Journal of Hospitality & Tourism Administration*, 233 - 258.

Monday, L. M. (2022). Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC) Methodology as a Roadmap in Quality Improvement. *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, 46-49.

Montgomery, D. (2019). *Statistical Quality Control (Serie Aplicada en Matemáticas) 7.^a edición*. Hackensack, NJ: World Scientific Publishing .

Apéndice

Apéndice 1: Plan de recolección de datos.

Nº	Variable	¿Qué?			¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Cómo?		¿Para qué?	¿Quién?
		Unidad de medida	Factores de estratificación	Tipo de dato			Método de recolección	Instrumento		
1	Tiempo de arreglado	minutos	Tipo de parrilla	Cuantitativo - Continuo	Línea de cromado	Mayo y Junio del 2025	Observación directa	Cronómetro	Conocer el tiempo real del arreglado y el impacto en la variable de salida	Jhonny Tigua
2	Tiempo de niquelado	minutos	Tipo de parrilla, Tanque de níquel	Cuantitativo - Continuo	Línea de cromado	Mayo y Junio del 2025	Observación directa	Cronómetro	Conocer el tiempo real del niquelado y el impacto en la variable de salida	Jhonny Tigua
3	Tiempo de cromado	minutos	Tipo de parrilla	Cuantitativo - Continuo	Línea de cromado	Mayo y Junio del 2025	Observación directa	Cronómetro	Conocer el tiempo real del cromado y el impacto en la variable de salida	Jhonny Tigua
4	Tiempo de control-calidad	minutos	Tipo de parrilla	Cuantitativo - Continuo	Línea de cromado	Mayo y Junio del 2025	Observación directa	Cronómetro	Conocer el tiempo real del control de calidad y el impacto en la variable de salida	Jhonny Tigua

Apéndice 2: Resumen análisis de capacidad de las variables definidas en el plan de recolección de datos.

Variable	Tiempo Promedio (min)	Rango establecido por proveedor (min)	Tiempo máximo real (min)	Tiempo mínimo real (min)	Valor p	Cp	Cpk	Clase de Proceso	Observaciones
Tiempo de arreglado	4,16	3,5 – 4,5	4,68	3,65	0,530	0,59	0,57	4	Estable, pero no capaz
Tiempo de Niquelado	15,97	15 – 18	17,92	14,5	0,525	0,64	0,41	4	Estable, pero no capaz, mayor tiempo individual, descentrado tendencia al límite inferior
Tiempo de Cromado	9,24	8,5 – 10,5	10,73	8	0,134	0,48	0,4	4	Estable, pero no capaz
Tiempo de Control-Calidad	7,56	6,5 – 8,5	8,66	6,45	0,178	0,9	0,88	3	Estable, pero no capaz

Apéndice 3: Matriz Causa – Efecto: Causas potenciales Altos tiempos de niquelado

Factor	Código	Causas	Manager de cromado	Líder de línea	Control de Calidad	Total
Mano de Obra	X1	No hay rotación de operadores	1	3	1	5
	X2	Ineficiencia en la organización de los operadores.	3	3	1	7
	X3	No hay personal capacitado para realizar la toma de pH y densidad.	3	9	3	15
	X4	Ningún operador está capacitado para saber el estado de la solución.	3	1	1	5
Material	X5	Hay materia prima que se niquela a mayor tiempo.	9	3	0	12
	X6	Bajo nivel de níquel en los ánodos.	3	9	3	15
	X7	No hay control de químicos que se adicionan.	3	3	3	9
	X8	Las dosificaciones de químicos no se realizan a tiempo	3	1	3	7
	X9	Las dosificaciones de níquel se realizan de manera correctiva.	3	9	9	21
Medio Ambiente	X10	Contaminación en los tanques de níquel.	9	9	9	27
	X11	El área de cromado se ha reducido considerablemente.	1	1	3	5
Maquinaria	X12	No hay herramental para verificar las condiciones de los tanques de níquel.	0	3	3	6
	X13	El uso de gancheras viejas genera tiempos altos.	3	9	9	21

Método	X14	Los parámetros de los tanques de níquel están configurados para 15 min.	3	9	9	21
	X15	Bajo amperaje aumenta el tiempo de niquelado.	3	9	1	13
	X16	Falta de mantenimiento en los tanques de niquelado.	3	3	1	7
	X17	No hay control de los parámetros en los tanques de niquelado.	9	3	3	15
	X18	Dificultad al colocar las parrillas.	0	9	0	9

Apéndice 4: *Plan de verificación: Causas Potenciales del alto tiempo de niquelado.*

Plan de Verificación: Causas Potenciales							
Código	Causa	¿Qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?		¿Cómo?	¿Quién?
		Teoría del Impacto en variable Y		Inicio	Fin		
X14	Los parámetros de los tanques de níquel están configurados para 15 min.	Si no se ajustan los parámetros operativos de los tanques de níquel conforme a las condiciones actuales del proceso, se genera una alta variabilidad en los tiempos de niquelado. Esto afecta la estabilidad del proceso, impidiendo alcanzar un ciclo eficiente y repetible.	Operación de níquelado	30/6/2025	4/7/2025	Observación directa, entrevistas con proveedores.	Jhonny Tigua
		Un bajo nivel de níquel en los ánodos impide el recubrimiento completo de las parrillas. Esto obliga a extender el tiempo de niquelado para compensar la deficiencia, afectando directamente la tasa de salida del proceso.					
X6	Bajo nivel de níquel en los ánodos.		Operación de níquelado	30/6/2025	4/7/2025	Observación directa, contraprueba.	Jhonny Tigua

X7	No hay control de químicos que se adicionan.	La falta de control sobre los químicos adicionados genera incertidumbre en las condiciones del baño de níquel, ya que los operadores no siempre conocen qué se ha agregado ni la cantidad. Esto produce una descompensación química que puede contaminar la solución de niquelado y generar recubrimientos defectuosos o ineficientes.	Línea de cromado	30/6/2025	4/7/2025	Observación directa, contraprueba.	Jhonny Tigua
X13	El uso de gancheras viejas genera tiempos altos.	El uso de gancheras desgastadas incrementa los tiempos de niquelado debido al mal contacto eléctrico y mecánico con las parrillas. Este desgaste, al no ser controlado, reduce la eficiencia del proceso y genera tiempos altos.	Operación de niquelado	30/6/2025	4/7/2025	Observación directa, contraprueba.	Jhonny Tigua

Apéndice 5: *Análisis causas raíz: Posibles soluciones*

Código	Causa potencial	Causa raíz	Posibles soluciones
X14	Los parámetros de los tanques de níquel están configurados para 15 min.	Los parámetros de los tanques de niquelado no han sido ajustados a lo largo del tiempo, a pesar de las mejoras implementadas en los equipos.	1. Establecer nuevos parámetros por medio de diseño experimental y asesoría de proveedores. 2. Implementar un sistema de mejora continua para revisión constante de parámetros. 3. Capacitar al personal técnico en actualización de parámetros según rendimiento del equipo. 4. Establecer los equipos y herramental disponible con su capacidad de tal manera que se pueda actualizar constantemente. 5. Instalar temporizadores o controladores automáticos que ajusten el tiempo según carga o tipo de pieza.
		Actualmente no se cuenta con un control, ni con un responsable definido para el seguimiento de los niveles de níquel.	1. Asignar un operario responsable del control y reposición de níquel en los ánodos. 2. Instalar sensores de nivel automático con alarmas de reposición. 3. Establecer un check list diario o semanal de verificación de niveles de níquel según el consumo. 4. Capacitar al personal sobre la importancia del nivel de níquel en la eficiencia del proceso. 5. Incorporar controles visuales (como indicadores de nivel o ventanas transparentes en los tanques).
X6	Bajo nivel de níquel en los ánodos.		

X7	No hay control de químicos que se adicionan.	El operador encargado de realizar la adición no puede desatender sus demás actividades dentro del proceso.	1. Automatizar la dosificación de químicos con bombas dosificadoras. 2. Capacitar y delegar la tarea a todos los operadores distribuyendo la carga de trabajo. 3. Crear un procedimiento operativo estandarizado con horarios de adición de químicos. 4. Realizar auditorías internas para verificar cumplimiento del control químico. 5. Crear un registro de adición de químicos tipo check list que agilice el tiempo de registro 6. Estandarizar las adiciones de químicos de manera que no sea necesario pesar cada químico individualmente
	El uso de gancheras viejas genera tiempos altos.	El recubrimiento de níquel que se forma en las gancheras.	1. Programar mantenimiento periódico para limpieza o renovación de las gancheras. 2. Implementar un sistema de rotación para que todas las gancheras tengan el mismo uso. 3. Utilizar materiales o recubrimientos antiadherentes para las gancheras. 4. Establecer criterios claros para retirar gancheras deterioradas del proceso. 5. Evaluar la compra de nuevas gancheras con mejores propiedades eléctricas y mecánicas.

Apéndice 6: Matriz causa-efecto: Priorización de posibles soluciones.

Causa Raíz			Posibles Soluciones	Manager de operaciones	Manager de cromado	Líder de línea	Control de Calidad	Total
X14	Los parámetros de los tanques de niquelado no se han ajustado con el tiempo a pesar de las mejoras en los equipos.	S1	Establecer nuevos parámetros mediante diseño experimental y asesoramiento de proveedores.	9	9	3	3	24
		S2	Implementar un sistema de mejora continua para revisar constantemente los parámetros.	3	9	1	3	16
		S3	Capacitar al personal técnico en la actualización de parámetros según el rendimiento del equipo.	1	1	3	3	8
		S4	Definir equipos y herramientas por capacidad para permitir actualizaciones periódicas.	3	3	3	0	9
		S5	Instalar temporizadores o controladores automáticos que ajusten el tiempo según la carga o el tipo de pieza.	0	3	1	1	5
X6	No existe un control estricto, ni una persona asignada para monitorear los niveles de níquel en los ánodos.	S6	Asignar un operador dedicado responsable de monitorear y rellenar el níquel en los ánodos.	3	3	3	3	12
		S7	Instalar sensores para el nivel de níquel automáticos con alarmas para las recargas.	1	9	3	3	16
		S8	Crear un registro de verificación diario o semanal para verificar y recargar los niveles de níquel según el consumo.	3	9	3	9	24

X7	El operador encargado de añadir productos químicos no tiene el tiempo suficiente debido a que puede descuidar sus otras tareas.	S9	Capacitar al personal sobre la importancia de los niveles de níquel en la eficiencia del proceso.	3	3	3	3	12
		S10	Agregar controles visuales (como indicadores de nivel o ventanas de visualización transparentes en los tanques).	9	9	3	1	22
		S11	Capacitar y delegar la tarea a todos los operadores para distribuir la carga de trabajo.	9	3	9	9	30
		S11	Capacitar y asignar las actividades de control del proceso a todos los operadores.	9	3	9	9	30
		S12	Automatizar la dosificación de productos químicos mediante bombas dosificadoras.	0	1	9	9	19
		S13	Crear un procedimiento operativo estandarizado con adiciones químicas programadas.	0	1	1	1	3
		S14	Realizar auditorías internas para verificar el cumplimiento del control químico.	3	9	3	3	18
		S15	Crear un formulario de adiciones químicas estilo de lista de verificación.	9	9	9	3	30
X13	La acumulación de níquel en los ganchos	S16	Estandarizar el instrumental para las adiciones químicas.	1	0	9	3	13
		S17	Programar un mantenimiento periódico para limpiar o reemplazar las gancheras	9	9	3	9	30

de cobre aumenta el tiempo niquelado.	S18	Implemente un sistema de rotación para que todos los ganchos tengan un uso similar	1	3	3	3	10
	S19	Use materiales o recubrimientos antiadherentes para los ganchos	9	3	3	9	24
	S20	Establecer criterios claros para la eliminación de ganchos dañados del proceso	1	0	3	3	7
	S21	Evalúe la compra de nuevos ganchos con propiedades eléctricas y mecánicas mejoradas.	3	3	3	3	12

Apéndice 7: Plan de implementación de soluciones propuestas.

¿Qué?		¿Para qué?	¿Dónde?	¿Cuándo?		¿Cómo?	¿Quién?
Causa raíz	Solución			Inicio	Fin		
X14 Los parámetros de los tanques de niquelado no se han ajustado con el tiempo a pesar de las mejoras en los equipos.	S1 Establecer nuevos parámetros mediante diseño experimental y asesoramiento a proveedores.	Para optimizar el tiempo de niquelado ajustando los parámetros y espesor requerido por los clientes (9 micras).	Línea de cromado	21/7/2025	15/8/2025	Mediante diseño experimental con asesoría técnica del proveedor para encontrar los parámetros ideales (tiempo, voltaje, temperatura, concentración de níquel).	Jhonny Tigua
X6 No existe un control estricto, ni una persona asignada para monitorear los niveles de níquel en los ánodos.	S8 Crear un registro de verificación diario o semanal para verificar y recargar los niveles de níquel según el consumo.	Para mantener una concentración adecuada de níquel y asegurar una deposito estable.	Operación de niquelado	21/7/2025	15/8/2025	Con un registros diarios/semanales ligado al programa de producción para obtener el consumo y la reposición necesitada	Jhonny Tigua

X7	El operador encargado de añadir productos químicos no tiene el tiempo suficiente debido a que puede descuidar sus otras tareas.	S11	Capacitar y asignar las actividades de control del proceso a todos los operadores.	Para que todos los operadores estén preparados y se evite la sobrecarga de trabajo en un solo operador	Sala de reuniones	21/7/2025	15/8/2025	A través de sesiones de capacitación y asignación rotativa con seguimiento para asegurar el cumplimiento.	Jhonny Tigua
		S15	Crear un formulario rápido de adiciones químicas estilo de lista de verificación	Para asegurar la correcta adición de químicos y evitar excesos o faltantes que alteren la concentración del baño.	Línea de cromado	21/7/2025	15/8/2025		
		S17	Programar un mantenimiento periódico para limpiar o reemplazar las gancheras	Para garantizar una buena conducción de electricidad y evitar interrupciones en el proceso de niquelado	Línea de cromado	21/7/2025	15/8/2025	Usando formulario en línea (Google forms) donde registre el químico, cantidad, hora y responsable.	Jhonny Tigua
X13	La acumulación de níquel en los ganchos de cobre aumenta el tiempo niquelado.							Con un plan de mantenimiento que incluya limpieza mecánica/química o reemplazo de gancheras según el estado.	Jhonny Tigua

Apéndice 8: *Porcentaje de defectos por tanque de niquelado.*

Porcentaje de defectos por tanques de niquelado					
Tanque de niquelado	Tipos de defectos de los tanques de níquel				
	Porcentaje de parrillas amarillas	Porcentaje de parrillas manchas blancas	Porcentaje de parrillas blancas	Porcentaje de parrillas azules	Porcentaje de defectos totales
1	1,03%	0,08%	0,57%	0,04%	0,43%
2	0,68%	0,15%	0,83%	0,04%	0,43%
3	0,53%	0,05%	0,42%	0,02%	0,26%
4	0,66%	0,22%	1,82%	0,01%	0,68%

Apéndice 9: *Corridas del diseño experimental: Establecer parámetros de los tanques de niquelado.*

Orden Corrida	Amperaje (A)	Nivel de níquel (Kg)	Y1= Tiempo de niquelado (min)	Y2=Porcentaje de defectos
1	1050	11	15,72	1,00%
2	850	11	13,15	1,92%
3	850	10	14,42	1,81%
4	650	11	12,22	9,30%
5	650	10	12,1	8,20%
6	650	12	10,55	11,83%
7	850	12	12,5	1,00%
8	650	12	10,44	11,76%
9	1050	10	14,41	1,12%
10	850	11	13,19	1,11%
11	850	12	12,45	0,90%
12	1050	12	14,27	1,30%
13	1050	12	14,35	1,08%
14	850	11	13,15	1,64%
15	650	12	10,33	11,88%
16	1050	11	15,72	1,34%
17	1050	12	14,23	1,77%
18	850	12	12,45	0,80%
19	1050	10	15,35	1,23%
20	1050	11	15,86	1,59%
21	850	10	14,34	1,73%
22	650	11	12,32	10,12%
23	650	11	12,27	10,00%
24	650	10	12,15	8,25%
25	850	10	14,38	1,20%
26	1050	10	15,91	1,02%
27	650	10	12,1	7,15%

Apéndice 10: *Resultado de implementación de mejoras: Antes vs Después*

Resultados de la mejora: Antes vs Después		
Fecha	Tasa de salida (unidades/hora)	Datos
4/8/2025	237	Después
5/8/2025	228	Después
6/8/2025	202	Después
7/8/2025	228	Después
12/8/2025	230	Después
13/8/2025	233	Después
14/8/2025	228	Después
15/8/2025	236	Después
18/8/2025	231	Después
19/8/2025	234	Después
20/8/2025	236	Después
21/8/2025	234	Después
7/5/2025	190	Antes
12/5/2025	228	Antes
13/5/2025	174	Antes
15/5/2025	189	Antes
19/5/2025	228	Antes
20/5/2025	172	Antes
21/5/2025	133	Antes
26/5/2025	182	Antes
27/5/2025	173	Antes
28/5/2025	165	Antes
29/5/2025	228	Antes
2/6/2025	181	Antes
3/6/2025	172	Antes
9/6/2025	167	Antes
10/6/2025	228	Antes
11/6/2025	179	Antes

16/6/2025	171	Antes
17/6/2025	179	Antes
18/6/2025	185	Antes
24/6/2025	175	Antes
25/6/2025	200	Antes
26/6/2025	151	Antes
30/6/2025	177	Antes
1/7/2025	201	Antes
2/7/2025	208	Antes
3/7/2025	170	Antes
8/7/2025	228	Antes
9/7/2025	188	Antes
10/7/2025	170	Antes
31/7/2025	176	Antes

Apéndice 11: *Calculo de níquel añadido por parrilla*

Comparación de parrillas cromadas y sin cromar		
Peso de parrilla (gramos)		Níquel añadido (gramos)
Cruda	Cromada	
876,20	887,95	11,75
873,03	882,24	9,21
872,30	881,75	9,45
876,52	885,52	9,00
876,96	888,03	11,07
877,14	890,40	13,26
876,63	887,13	10,50
876,79	888,31	11,52
875,80	888,38	12,58
874,82	886,56	11,74
871,72	884,46	12,74
873,24	885,03	11,79
876,23	886,69	10,46
871,48	883,55	12,07
876,14	888,61	12,47
Promedio		11,31

Apéndice 12: *Comparación de Producción y Consumo de Agua Antes y Después de la Mejora.*

Comparación de Producción y Consumo de Agua Antes y Después de la Mejora					
	Horas de producción	Parrillas producidas (unidades/hora)	Total de parrillas producidas (unidades/hora)	Total de agua usada (Litros)	Litro de agua por parrilla (Litro/unidades)
Antes	8	185	1480	3500	2.36
Después	8	232	1856	3500	1.89

Apéndice 13: *Plan de control.*

Plan de control: Soluciones implementadas					
Causa raíz	Solución Propuesta	Factor por controlar	Responsable	Método de control	Frecuencia de control
No se han ajustaron los parámetros de los tanques de níquel con el tiempo, pese a mejoras en los equipos.	S1 Establecer nuevos parámetros mediante diseño experimental y asesoramiento a proveedores.	Los nuevos parámetros establecidos.	Asistente de calidad	Registro de parámetros que genera el indicador Cumplimiento de parámetros	Mensual
No hay control estricto ni alguien definido para llevar un control sobre los niveles de níquel	S8 Crear un registro de verificación diario o semanal para verificar y recargar los niveles de níquel según el consumo.	Registro de verificación diario de los niveles de níquel.	Auxiliar de producción	Registro el cual genera el indicador Cumplimiento de verificaciones y adicciones programadas de níquel	Semanal
El operador que realiza la adición no puede descuidar sus demás actividades en el proceso.	S11 Capacitar, delegar la tarea a todos los operadores y distribuir la carga de trabajo	Cronograma: Plan de asignación semanal de actividades de cromado.	Auxiliar de producción	Por medio del Plan y los registros de cada actividad que genera el indicador Cumplimiento del plan de asignación	Mensual

	S15	Crear un formulario rápido de adiciones químicas estilo de lista de verificación	Registro online adición en baños de níquel.	Asistente de calidad	Registro el cual genera el indicador Cumplimiento de adiciones de químicos	Mensual
El recubrimiento de níquel que se forma en las gancheras.	S17	Programar un mantenimiento periódico para limpiar o reemplazar las gancheras	Reemplazo de gancheras.	Asistente de mantenimiento	Por medio del Plan y los registros de cada actividad que genera el indicador Cumplimiento del reemplazo de gancheras	Mensual
