

CONSULTORIA

**MITIGACION DE DEFECTOS INTERNOS Y DEVOLUCIONES, MEDIANTE
LA ESTANDARIZACION DE PROCESOS CRITICOS DE PRODUCCION, EN LA
PLANTA DE EXTRUSION ALUMINIO ALE.**

BRIAN CARDONA HERRERA

MARYURI UNDA CONTRERAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI

FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS

Y ADMINISTRATIVAS

SANTIAGO DE CALI (M.B.A)

2026

CONSULTORIA

**MITIGACION DE DEFECTOS INTERNOS Y DEVOLUCIONES, MEDIANTE
LA ESTANDARIZACION DE PROCESOS CRITICOS DE PRODUCCION, EN LA
PLANTA DE EXTRUSION ALUMINIO ALE.**

BRIAN CARDONA HERRERA

MARYURI UNDA CONTRERAS

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título
de Magíster en –ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

Director del trabajo de grado: IRIS MARIA VELEZ OSORIO

Profesión: Administradora de Empresas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI

FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS

Y ADMINISTRATIVAS

SANTIAGO DE CALI (M.B.A)

2026

Artículo 23, resolución No 13 del 6 de Julio de 1946,

La universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vean en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia.”

Resumen: El presente trabajo de grado, desarrollado bajo la modalidad de consultoría, tiene como objetivo mitigar los defectos internos y las devoluciones de clientes mediante la estandarización de los procesos críticos de producción en la planta de extrusión de aluminio ALE. El estudio parte del análisis de información histórica de calidad, indicadores de desempeño y condiciones operativas de los procesos productivos, con el fin de identificar las principales causas raíz asociadas a la variabilidad del proceso, fallas en la estandarización y debilidades en el control operativo.

La metodología empleada se basa en principios de mejora continua, enfoque por procesos y análisis estructurado de causas, permitiendo definir acciones orientadas a la reducción de desperdicios, reprocesos y reclamos de clientes. Como resultado, se plantea una propuesta de estandarización que integra operación, mantenimiento y control de calidad, enfocada en la sostenibilidad de los resultados y en el fortalecimiento del desempeño productivo de la planta.

El trabajo evidencia que la estandarización de procesos críticos, soportada en datos y disciplina operativa, es una herramienta efectiva para mejorar la calidad del producto, reducir devoluciones y aumentar la competitividad en la industria de extrusión de aluminio.

Palabras clave: Acción correctiva, acción preventiva, análisis de causas, calidad, capacidad del proceso, causa raíz, control de procesos, defectos internos, eficiencia operativa, estandarización de procesos, estabilidad del proceso, indicadores de desempeño (kpi), variabilidad del proceso.

Abstract

This graduate project, developed under a consultancy approach, aims to mitigate internal defects and customer returns through the standardization of critical production processes at the ALE aluminum extrusion plant. The study is based on the analysis of historical quality data, performance indicators, and operational conditions of the production processes, in order to identify root causes related to process variability, lack of standardization, and weaknesses in operational control.

The methodology is grounded in continuous improvement principles, a process-oriented approach, and structured root cause analysis, enabling the definition of actions focused on waste reduction, rework minimization, and customer complaint reduction. As a result, a standardization proposal is presented, integrating operations, maintenance, and quality control, with a focus on result sustainability and improved plant performance.

The project demonstrates that the standardization of critical processes, supported by data-driven decision-making and operational discipline, is an effective strategy to improve product quality, reduce returns, and enhance competitiveness in the aluminum extrusion industry.

Keywords: Corrective action, preventive action, cause analysis, quality, process capability, root cause, process control, internal defects, operational efficiency, process standardization, process stability, performance indicators (KPIs), process variability.

CONTENIDO

1.	Introducción al sector de los metales no ferrosos y la industria del aluminio	21
2.	Justificación y/o propósito de la consultoría.....	23
2.1.	¿Porque es importante el desarrollo de este proyecto?	24
2.2.	Identificación de problemas.	24
3.	Objetivo General.....	26
3.1.	Objetivos Específicos	26
3.2.	Alineación con el MBA.	27
4.	Identificación de las necesidades del cliente	28
5.	Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que respaldan esta propuesta.....	29
6.	Descripción del producto / servicio esperado	32
6.1.	Valor Para el Cliente	32
6.2.	Entregables del Proyecto	32
7.	Resultados Esperados.....	33
8.	Riesgos y planes de mitigación.....	35
9.	Metodología Para Emplear	36
9.1.	Metodología DMAIC	38
9.2.	Herramientas y técnicas de análisis	40
10.	Involucrados claves y sus expectativas.....	41
11.	Supuestos	42
12.	Restricciones	44
12.1.	Limitaciones del Proyecto:	44

12.2.	Tiempo.	44
12.3.	Costo.	44
12.4.	Dependencia de Resultados Previos:	45
12.5.	Resistencia al Cambio.	45
12.6.	Capacidad de Monitoreo y Validación.	45
13.	Marco teórico	47
13.1.	Gestión de la Calidad Total (TQM)	47
13.2.	Mejora Continua y Ciclo DMAIC	48
13.3.	Proceso de extrusión de aluminio	50
13.3.1.	Calentamiento del billet	50
13.3.2.	Extrusión	51
13.3.3.	Sistema de Enfriamiento en Extrusión (Wenching o Quenching)	51
13.3.4.	Puller o sistema de tracción	52
13.3.5.	Estirado	52
13.3.6.	Temple	52
13.3.7.	Aleaciones utilizadas	53
13.3.8.	Parámetros de Control para la Estabilidad del Proceso de Extrusión	54
13.4.	Indicadores de Desempeño: OEE y KPIs de Calidad	55
13.4.1.	OEE – Eficiencia Global de los Equipos	55
13.4.2.	KPIs de Calidad	56
13.5.	Metrología Industrial	57
13.5.1.	Principios de la metrología	57
13.5.2.	Gestión del sistema metrológico	57

13.6.	Impacto en la calidad del producto	57
13.6.1.	Costos de no calidad	58
13.6.2.	Indicadores financieros relevantes.....	58
13.7.	Procedimientos Operativos Estandarizados (POE)	58
14.	Diagnostico	60
14.1.	Fase Definir: Identificación del problema y alcance	62
14.2.	Fase Medir: Recopilación y caracterización de defectos	63
14.2.1.	Balance de Tn procesadas, rechazos y producto conforme.	64
14.2.2.	Afectación relativa sobre el costo y margen operativo	66
14.2.3.	Identificación y medición del rechazo del proceso	66
14.2.4.	Pareto de rechazo por defectos	67
14.3.	Fase Analizar: Identificación de causas raíz	70
14.3.1.	Causa raíz y método de detección golpes.	70
14.3.2.	Causa raíz y método de detección de bajo temple o dureza.	72
14.3.3.	Causa raíz y método de detección raya matriz.....	74
14.3.4.	Causa raíz y método de detección viramiento	75
14.3.5.	Causa raíz y mitigación de defectos geométricos	77
14.4.	Fase Mejorar: Estrategia de solución	83
14.5.	Fase Controlar: Indicadores y sostenibilidad	83
15.	Plan de Metrología.....	85
15.1.	Clasificación e identificación de instrumentos de medición	85
15.1.1.	Criterios de clasificación.....	86
15.1.2.	Clasificación operativa de los instrumentos en Ale Aluminios.....	86

15.1.3.	Aplicación de la clasificación en el control del proceso.....	88
15.2.	Codificación de instrumentos de medición	89
15.2.1.	Objetivo y principios de codificación.....	90
15.2.2.	Estructura de codificación.....	90
15.3.	Mantenimiento y control metrológico	91
15.3.1.	Estructura de la matriz de mantenimiento.....	92
15.3.2.	Tipo de actividad.....	92
15.3.3.	Descripción detallada de la tarea y sub tareas asociadas.....	93
15.3.4.	Frecuencias de mantenimiento y calibración.....	107
15.3.5.	Inventario de instrumentos de medición.....	107
15.4.	Plan general de metrología	109
15.4.1.	Lineamientos para la programación del plan.....	109
15.4.2.	Ejecución y control.....	110
15.5.	Hojas de vida de equipos de medición	110
15.6.	Integración al sistema	112
15.7.	Conclusión general del Plan de Metrología	113
16.	Procedimientos Operativos Estandarizados (POE'S).....	114
16.1.	Metodología de control de información documentada.	115
16.2.	Autoridad y Responsabilidad.	117
16.3.	Condiciones generales en el manejo correcto de la documentación.	117
16.4.	Elaboración de documentos controlados.	119
16.4.1.	Encabezado de documentos controlados.....	120
16.4.2.	Codificación de los documentos.....	121

16.4.3.	Contenido de los documentos	122
17.	Monitoreo y Validación	125
17.1.	Fuentes de Datos	126
17.2.	Indicadores de primer nivel (gerenciales)	126
17.2.1.	Fórmulas y estructura de medición	127
17.3.	Indicadores de segundo nivel (operativos o de seguimiento)	128
17.3.1.	Fórmulas y estructura de medición	129
17.4.	Establecimiento de metas móviles y límites de control	130
17.4.1.	Metas móviles.	130
17.4.2.	Límites de control.	131
17.5.	Tablero de control	132
18.	Modelo de ejecución para la implementación de la propuesta.	135
18.1.	Enfoque de implementación	135
18.2.	Gobierno del proyecto y responsables	136
18.3.	Secuencia de ejecución.	137
18.4.	Mecanismo de control y toma de decisiones.	137
18.5.	Seguimiento y Sostenibilidad de la propuesta	138
18.6.	Comunicación de la información.	139
19.	Conclusiones y Recomendaciones	141
19.1.	Conclusiones	141
19.2.	Recomendaciones	144
20.	Referencias.....	147

ECUACIONES

Ecuación 1. Disponibilidad.....	55
Ecuación 2. Rendimiento.....	55
Ecuación 3. Calidad.....	55
Ecuación 4. OEE.....	56
Ecuación 5. OEE (Overall Equipment Effectiveness).....	128
Ecuación 6. Meta proceso estable.....	130
Ecuación 7. Media móvil.....	130
Ecuación 8. Desviación estándar móvil.....	130
Ecuación 9. Límite de control superior.....	131
Ecuación 10. Límite de control inferior.....	131

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Pareto de rechazo interno PNC 08/24 – 07/25 (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025)	67
Ilustración 2. Pareto devoluciones PQR 08/24 – 07/25 (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025).	68
Ilustración 3. Inventario de equipos de medición (Ale aluminios, Listado maestro de equipos, 2025).....	108
Ilustración 4. Hoja de vida instrumentos de medición (Ale aluminios, Formato hoja de vida de instrumentos, 2025).....	111
Ilustración 5. Encabezado de documentos controlados (Elaboracion propia, 2025).	120
Ilustración 6. Ejemplo de codificación (Elaboracion propia, 2025).	121
Ilustración 7. Desarrollo de actividades (Elaboracion propia, 2025).....	123
Ilustración 8. Control de cambios (Elaboracion propia, 2025).....	124
Ilustración 9. Indicadores de primer nivel (Elaboracion propia, 2025)	132
Ilustración 10. Indicadores de segundo nivel (Elaboración propia).	133

TABLAS

Tabla 1. Riesgos y planes de mitigación. (Elaboracion propia, 2025)	35
Tabla 2. Comparativo metodologías de mejora (Elaboracion propia, 2025).....	37
Tabla 3. Involucrados clave y expectativas (Elaboracion propia, 2025).....	41
Tabla 4. Rata de enfriamiento por aleación. (AEC Aluminium extruders council, 2018))	51
Tabla 5. Aleaciones serie 6000. (ASTM International, 2012).....	53
Tabla 6. Parámetros críticos de extrusión (ASTM B221-12)	54
Tabla 7. Descripción DMAIC (Elaboracion propia, 2025).....	61
Tabla 8. Afectación del margen y el costo 24-25 (Elaboracion propia, 2025).	66
Tabla 9. Defectos de extrusión (AEC Aluminium extruders council, 2018).....	66
Tabla 10. Pareto de PNC (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025)	68
Tabla 11. Pareto de PQR (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025).	69
Tabla 12. Causa raíz y método de control de golpes (Elaboracion propia, 2025)	71
Tabla 13. Causa raíz y método de control baja dureza (Elaboracion propia, 2025).	73
Tabla 14. Causa raíz y método de control raya de matriz (Elaboracion propia, 2025). ...	74
Tabla 15.causa raiz y método de control de viramiento (Elaboracion propia, 2025)	75
Tabla 16. Causa raíz y mitigación de defectos geométrico (Elaboracion propia, 2025) .	81
Tabla 17. Instrumentos según magnitud controlada (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Listado maestro de equipos, 2025).....	88

Tabla 18. Codificación de instrumentos (Ale aluminios, Formato hoja de vida de instrumentos, 2025).....	91
Tabla 19. Detallada de las tareas y sub tareas asociadas (Elaboracion propia, 2025). ...	107
Tabla 20. Siglas para cada proceso de la compañía (Elaboracion propia, 2025).....	121
Tabla 21. Indicadores de primer nivel (Elaboracion propia, 2025).	127
Tabla 22. Indicadores de segundo nivel (Elaboracion propia, 2025)	129
Tabla 23. Etapas de implementación. (Elaboracion propia, 2025).....	137
Tabla 24. Niveles de Seguimiento. (Elaboracion propia, 2025).	139
Tabla 25. Niveles de comunicación. (Elaboracion propia, 2025).....	140

1. Introducción al sector de los metales no ferrosos y la industria del aluminio

En Colombia, el sector de los metales no ferrosos está compuesto por alrededor de 200 establecimientos (Informa colombia, 2025), en su mayoría pequeños y medianos, dedicados a la fundición de estos metales con concentración en Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca. El sector incluye la producción de metales como aluminio, cobre, níquel, zinc, estaño, plomo, cromo, manganeso, entre otros. En el 2021 este subsector generó exportaciones por 162 millones de dólares, representando un crecimiento del 90 % con respecto al 2020 y el 0.4 % de las exportaciones minero-energéticas del país (Extractive Industries Transparency Initiative, 2023).

El comportamiento del sector depende estrechamente de los precios internacionales fijados en la bolsa (2025 The London Metal Exchange - an HKEX Company. , 2025), donde el aluminio ocupa una posición estratégica por su alta demanda en sectores industriales. El aluminio es un metal ligero, duradero e infinitamente reciclable, esencial para industrias modernas como la construcción, el transporte y el embalaje, debido a su alta relación resistencia- peso y su buen desempeño frente a la corrosión (2025 The London Metal Exchange - an HKEX Company., 2025). Estas propiedades han consolidado al aluminio como un insumo clave en la transición hacia economías más sostenibles y eficientes. Sin embargo, la industria enfrenta grandes desafíos relacionados con la eficiencia energética y la reducción de emisiones. Regulaciones internacionales como el Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), impulsado por la (European Commission, 2025), actualmente en fase transitoria (2023–2025) y con entrada en rigor en el año 2026, incluyen al aluminio entre los sectores sujetos a control de emisiones, afectando la competitividad de las exportaciones con altos índices de carbono. En Colombia, los costos de energía eléctrica para la industria, han mostrado una tendencia creciente. según XM (Operador del sistema de interconexión Nacional) el precio promedio de los contratos

del mercado no regulado “Grandes consumidores” paso de 191,2 COP/kWh en 2020 a 291,02 COP/kWh en agosto de 2025, lo que muestra un incremento superior al 50 % (XM, 2025). Este valor corresponde únicamente al precio de la energía en el mercado mayorista y no incluye todos los componentes tarifarios, como transporte o distribución.

Ante este contexto, la optimización de los procesos productivos y reducción de defectos se vuelve necesario para contrarrestar el impacto de los costos crecientes de energía, especialmente en sectores con alto consumo eléctrico como el del aluminio. En particular, el proceso de extrusión que puede llegar a representar hasta el 70% del costo total de la energía aplicada a la transformación. Este proceso exige conocer y controlar las variables críticas para garantizar la eficiencia en costos, productividad y calidad del producto final. Por ello, este estudio plantea la mejora del proceso de extrusión bajo metodologías de gestión de calidad y optimización continua, como DMAIC, se plantea como el eje central de este estudio, el cual se orienta a reducir defectos, mejorar el desempeño operativo y fortalecer la competitividad de la empresa.

2. Justificación y/o propósito de la consultoría

"Aluminios Ale" es una empresa dedicada a la producción de perfiles de aluminio en crudo, pintados y anodizados. Su proceso productivo incluye las áreas de fundición, homogenizado, extrusión, temple, anodizado, pintura y empaque.

Actualmente, la planta opera con un OEE (Overall Equipment Effectiveness) de 42,6% (Ale aluminios, Formato hoja de vida de instrumentos, 2025)

- Disponibilidad: 82%.
- Calidad: 65%.
- Rendimiento: 80%.

El mercado de perfiles de aluminio en Colombia está principalmente impulsado por sectores como la construcción, la energía y la manufactura. En la construcción, se utiliza para la fabricación de ventanas, puertas, fachadas y otros elementos arquitectónicos. También hay una creciente demanda en el sector de la energía, especialmente para componentes en proyectos de energías renovables, como paneles solares y turbinas eólicas.

Empresas locales como ALUMINA S.A. (líder del mercado), Alucol S.A., Extecal y Alé Aluminios. son líderes en la producción y distribución, pero también compiten con gigantes internacionales como Norsk Hydro, ZhongWang Fabric Co, Constellum, Sapa y Alcoa. La producción local se enfoca en la extrusión de aluminio, usando aleaciones de la serie 6000 para diferentes aplicaciones.

2.1. ¿Porque es importante el desarrollo de este proyecto?

¿Cómo la estandarización de los procedimientos operativos críticos, el diseño de un plan de metrología, la definición de indicadores clave de desempeño (KPI) y la estructuración de un plan de mejora continua pueden contribuir a reducir defectos de calidad, errores de medición y retrabajos en la planta de extrusión de Aluminios ALE?

2.2. Identificación de problemas.

El proyecto se desarrolla como una propuesta metodológica para identificar y corregir la causalidad de los problemas de calidad de la compañía, con el objetivo de reducir los defectos internos y las devoluciones por reclamos de los clientes.

La tasa de rechazos internos acumulado en el 2024 basado en los datos internos de la compañía es del 33%, y las devoluciones por reclamos de clientes alcanzan el 0,7% (Ale aluminios, Formato hoja de vida de instrumentos, 2025), Esto se debe a deficiencias en la estandarización de procesos, falta de un plan de metrología, carencia de capacitación estructurada para operarios y supervisores, y ausencia de un plan de auditoría que garantice el cumplimiento de los estándares de calidad.

Las pérdidas acumuladas en el 2024 por rechazos y devoluciones impactaron el costo en un 10%.

El objetivo de esta consultoría es diseñar una propuesta basada en un sistema de gestión de calidad, donde se desarrollen lo siguientes aspectos clave:

Se definirán y documentan el 50% de los procesos operativos estandarizados (POE) para cada etapa crítica de la producción (Fundición, Extrusión, Homogenizado, Temple, Anonizado/Pintura y Empaque).

Se diseñará un plan de metrología para asegurar que los equipos de medición y control de calidad estén calibrados y operando correctamente.

La implementación de estas estrategias por parte de la compañía permitirá atacar directamente los factores que generan defectos de producción, optimizando la calidad de los productos y fortaleciendo la confianza del cliente.

3. Objetivo General

Diseñar y documentar un modelo de mejora de calidad en la planta de extrusión de Aluminios ALE, a través de la estandarización de procedimientos operativos (POE), la adopción de un plan de metrología y el desarrollo de un esquema de medición y mejoramiento continuo, con el fin de reducir los defectos internos, los errores de medición y las devoluciones por reclamos de clientes, mejorando la calidad en la eficiencia operacional del proceso de producción y la confiabilidad de la compañía.

3.1. Objetivos Específicos

- Diagnosticar las causas raíz de los defectos internos y devoluciones en las etapas críticas del proceso productivo de extrusión con sus subprocesos: Extrusión, manejo y temple.
- Diseñar parámetros y documentar los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) aplicables en el proceso de extrusión, temple y empaque para reducir la variabilidad y asegurar la uniformidad en la ejecución de tareas.
- Elaborar un plan de metrología que contemple la trazabilidad, calibración y mantenimiento de los equipos de medición e inspección.
- Proponer un esquema de seguimiento basado en indicadores de primer y segundo nivel que sean claves para el proceso, que impacten en OEE, tasa de defectos, devoluciones y pérdidas por calidad, los cuales facilitan la toma de decisiones y apoyan la mejora continua.

3.2. Alineación con el MBA.

Esta consultoría pretende desarrollar habilidades analíticas y toma de decisiones basadas en datos, fortalecer competencias en liderazgo, gestión del cambio y conocimientos que permitan aplicar estrategias de optimización de procesos para la mejora continua en entornos productivos exigentes y demás herramientas que impacten en la rentabilidad de la empresa.

Los conocimientos adquiridos en el MBA de la Pontificia Universidad Javeriana Cali serán clave para el desarrollo de esta consultoría. Se aplicarán modelos de toma de decisiones basadas en datos, liderazgo organizacional y estrategias de optimización de procesos productivos. Además, se integrarán herramientas de gestión financiera y control de costos para mejorar la rentabilidad.

Se empleará la Metodología de gestión de calidad y mejora de procesos, DMAIC. Esta herramienta permitirá reducir la variabilidad en los procesos y optimizar la eficiencia del proceso productivo.

4. Identificación de las necesidades del cliente

La revisión de los requisitos del cliente es un paso crítico para garantizar que los productos y servicios entregados cumplan con las expectativas y especificaciones establecidas. Este proceso es esencial para identificar posibles brechas entre lo solicitado y lo producido, permitiendo ajustar los procesos productivos y minimizar errores.

En este proyecto, la implementación por parte de la compañía tiene una importancia particular debido a factores como el impacto directo en la satisfacción del cliente, ya que cumplir con los requisitos es clave para fortalecer la relación con los clientes y mantener la confianza en la calidad de los productos.

Al reducir los reclamos y devoluciones de los clientes, se podrá identificar discrepancias desde las primeras etapas previniendo defectos en los productos finales, disminuyendo los costos asociados a devoluciones y reprocesos.

Para mantener la mejora continua, es importante evaluar y ajustar los procesos productivos según las demandas del cliente, esto permite optimizar la calidad en la eficiencia y garantizar la confiabilidad de los clientes.

A través de la implementación de las propuestas, se cumplirán de manera sistemática los requisitos del cliente, con este proyecto se busca asegurar la alineación entre la producción interna y las expectativas del cliente, contribuyendo al logro de las metas de calidad, productividad y satisfacción de los clientes.

5. Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que respaldan esta propuesta.

El proyecto de mejora en la productividad y calidad de los procesos de la planta se alinea con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015). Los ODS que más directamente respaldan esta propuesta son los siguientes:

Trabajo decente y crecimiento económico: Este objetivo busca promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos. El proyecto demuestra cómo la mejora de los procesos operativos contribuye a aumentar la productividad y la eficiencia en la planta, lo que puede generar un impacto positivo en la creación de empleo de calidad y en el crecimiento económico de la empresa. Además, al optimizar los procesos, la empresa puede reducir costos y aumentar su competitividad, lo que facilita el crecimiento económico sostenible.

Industria, innovación e infraestructura: Este objetivo promueve el desarrollo de infraestructuras resilientes, la industrialización inclusiva y sostenible, y la innovación. El enfoque de la consultoría en la mejora continua de los procesos industriales mediante el uso de herramientas como DMAIC y el ajuste técnico de equipos y procedimientos que se alinea directamente con la promoción de una industria más eficiente y capaz de reducir su impacto ambiental. La optimización de los procesos en pintura, fundición, temple, anodizado y extrusión también contribuye a una mayor eficiencia en el uso de los recursos.

Producción y consumo responsables: Este objetivo está centrado en garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. La reducción de defectos en los procesos de pintura, fundición y temple implica un uso más eficiente de los recursos y una disminución de los residuos generados en la planta. La mejora en la calidad de los procesos y la reducción de

desperdicios de materiales también están alineadas con la necesidad de adoptar prácticas industriales más responsables, lo que favorece la sostenibilidad en la producción.

Acción por el clima: Aunque no es el enfoque principal del proyecto, la mejora en los procesos industriales y la reducción de defectos pueden contribuir indirectamente a la acción por el clima al optimizar el uso de recursos y reducir el consumo de energía, agua y materias primas, lo que puede disminuir las emisiones de carbono asociadas con la producción. Además, la estandarización de los procedimientos y la mejora en la calidad de los productos pueden contribuir a una producción más eficiente y menos contaminante.

Alianzas para lograr los objetivos: El proyecto también resalta la importancia de la colaboración entre equipos de trabajo y la implementación de buenas prácticas en todas las áreas de la planta. La consultoría se basa en la idea de que la mejora continua se logra a través de la cooperación y el intercambio de conocimiento entre los empleados y las partes interesadas. Esto favorece el desarrollo de alianzas dentro de la organización y con proveedores de servicios especializados, como en este caso la consultoría.

La consultoría contribuye a la consecución de estos ODS al proponer una Metodología estructurada y basada en la mejora continua, que no solo busca optimizar los procesos industriales sino también crear un entorno de trabajo más eficiente, sostenible y responsable. A través de la estandarización de procedimientos, la consultoría ayuda a la Aluminios Ale S.A.S. a mejorar la calidad de sus productos, reducir el desperdicio de recursos y minimizar su impacto ambiental. Además, al mejorar la productividad y fortalecer la cultura de mejora continua, la consultoría contribuye al crecimiento económico de la empresa, promoviendo un modelo de control sobre desperdicios y gastos asociados a los procesos de producción.

La estandarización de los procesos críticos de producción no solo permite mitigar los principales defectos identificados en los análisis de Pareto, adicional transforman el modelo de gestión de la compañía a ser un ejemplo de productividad responsable y sostenibilidad industrial, alineadas a la eficiencia operativa apoyados en los principios globales de desarrollo sostenible.

Esta sinergia entre calidad, sostenibilidad y mejoramiento continuo demuestran que el crecimiento económico y la gestión ambiental pueden coexistir bajo el mismo enfoque estratégico, consolidando el aporte de la empresa a la consecución de los ODS desde la práctica industrial local hacia el impacto global.

6. Descripción del producto / servicio esperado

6.1. Valor Para el Cliente

El proyecto proporcionará un enfoque integral para mejorar la calidad en la eficiencia operativa y reducir los desperdicios internos de los procesos de producción, generando beneficios sostenibles para el cliente. La estandarización y optimización de los procesos productivos, junto con la calibración adecuada de los equipos, garantizará una mayor consistencia en la calidad y una reducción significativa de defectos.

En conjunto, estas acciones contribuirán a una mayor confianza de los clientes, fortaleciendo su reputación, fidelizando relaciones comerciales y asegurando un producto competitivo y de alta calidad.

6.2. Entregables del Proyecto

- Procedimientos Operativos Estandarizados (POE): Documentación del 50% de los POE en las etapas críticas del proceso de Extrusión (Extrusión, Temple y Empaque), asegurando uniformidad en la ejecución y reducción de defectos de calidad.
- Plan de Metrología: Documento que incluye la hoja de vida de los equipos, actividades asociadas al plan, frecuencias de calibración, mantenimiento y verificación. El objetivo es alcanzar un 90% de inclusión de los equipos en el plan.

7. Resultados Esperados

Con la implementación por parte de la compañía, se espera obtener avances concretos en la eficiencia operativa, la calidad del producto y la confiabilidad de los procesos en la planta de extrusión de Aluminios ALE. La estandarización de procedimientos operativos (POE) y el diseño de un plan de metrología están orientadas a reducir la variabilidad y la materialización de los defectos.

A continuación, se detallan los resultados esperados de la intervención, junto con los indicadores clave que permitirán evaluar su impacto de manera cuantificable y objetiva.

- La estandarización de procesos mediante POEs reducirá significativamente la tasa de defectos internos en al menos un 10% durante el primer trimestre de implementación, reduciendo la variabilidad y errores en procesos críticos de producción, mejorando la calidad del producto final.
- Indicadores de impacto: Defectos internos (%), % de procesos estandarizados (POE), Componente de calidad en el OEE (%) (Kg neto/Kg bruto) en el cierre del 2024 fue de 69,4%.
- La implementación de un plan de metrología aumentará la confiabilidad de las inspecciones y reducirá errores de medición en al menos un 20%, reduciendo las no conformidades por fallas en equipos de medición, mejorando la precisión y trazabilidad de datos.
- Indicadores de impacto: % de recobrado, Devoluciones de clientes, costos de No calidad, cumplimiento del plan de metrología, Identificación por medio de Pareto de Rechazos internos.

- El esquema de seguimiento de indicadores clave propuesto, permitirá monitorear de manera sistemática el desempeño de los procesos, facilitando la toma de decisiones basadas en datos y el ajuste oportuno de acciones correctivas. Se espera una mejora en la trazabilidad de la información operativa, mayor control sobre los niveles de calidad y eficiencia, y un soporte estructurado para el mantenimiento de las mejoras.

8. Riesgos y planes de mitigación.

Riesgo	Impacto	Ocurrencia	Acción Preventiva / Plan de Mitigación
Resistencia al cambio organizacional	Alta	Media	Incluir en el plan de formación, un ítem de gestión del cambio, con comunicación clara, talleres de sensibilización, y espacios de participación.
Falta de compromiso de supervisores y operarios	Alta	Media	Involucrarlos desde el inicio en el diseño del POE y la formación.
Fallos en los equipos de medición (metrología)	Media	Alta	Ejecutar mantenimiento preventivo y crear un inventario actualizado de equipos críticos con hojas de vida.
Poco tiempo en la documentación de POEs	Media	Alta	Asignar responsables específicos por área, cronograma detallado y verificaciones periódicas.
Baja asistencia o rotación de personal capacitado	Media	Media	Agendar las capacitaciones con 15 días de anticipación y replicar entrenamientos mediante líderes multiplicadores internos.
Datos imprecisos o falta de trazabilidad para el análisis de defectos	Alta	Media	Establecer formatos estándar para recolección de datos, auditorías de registros y verificaciones semanales.
Sobrecarga del equipo de calidad o ingeniería	Media	Media	Establecer roles y responsabilidades claras, e integrar apoyo de estudiantes.
Cambios imprevistos en la demanda o pedidos urgentes.	Media	Media	Planificar implementación en fases, aprovechando periodos de baja carga productiva.
Desalineación entre las áreas operativas y administrativas	Alta	Baja	Integrar reuniones interdepartamentales semanales y responsables cruzados para asegurar alineación.

Tabla 1. Riesgos y planes de mitigación. (Elaboración propia, 2025)

9. Metodología Para Emplear

Este proyecto se desarrollará bajo un enfoque de naturaleza mixta (cualitativo y cuantitativo), para el análisis cualitativo se realizará observación no participante, donde a partir de entrevista con el gerente se toma nota de las distintas situaciones en planta de extrusión, tanto momentos o desafíos y toma de decisiones (William_Garcia_Gerente_Ale_aluminios, 2025); desde la perspectiva cuantitativa se tomara información de datos secundarios provenientes de los registros históricos del sistema de calidad de la planta, con el fin de diseñar un modelo de mejora de calidad en la planta de extrusión de Aluminios ALE, a través de la estandarización de procedimientos operativos (POE), la adopción de un plan de metrología y el desarrollo de un esquema de seguimiento, para reducir los defectos internos, los errores de medición y las devoluciones por reclamos de clientes, mejorando la eficiencia operacional y la competitividad de la compañía.

Se realizó un análisis de las metodologías que se podrían utilizar en la mejora de procesos operativos, con el fin de identificar aquella que permita abordar de manera efectiva la mitigación de la variabilidad, dando enfoque en la identificación de la causa y en las acciones de mejora fundamentadas en la data cuantitativa.

Metodología	Objetivo principal	Ventajas	Limitaciones	Observaciones
DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar)	Esta metodología mejora los procesos existentes, enfocándose en reducir la variabilidad al identificar la causa que la genera.	Está basada en datos, es estructurada y orientada a resultados, incluye control sostenido.	Requiere formación y tiempo para su implementación.	Ofrece un rigor analítico y sostenibilidad, enfocado en KPIs y eficiencia operativa.
BPM (Business Process Management)	Esta metodología modela y gestiona los procesos de forma integral.	Tiene una visión organizacional, apoya la automatización y gestiona la documentación.	Esta muy orientado al diseño macro de los procesos.	Es muy útil para rediseño total, pero menos efectivo para mejora basada en datos.
Design Thinking	Esta metodología se basa en innovar soluciones centradas en el usuario.	Es muy creativo, útil para nuevos servicios o productos.	No es muy adecuado para análisis operacional o reducción de variabilidad.	Muy creativo, pero no técnico; no sirve para problemas operativos cuantificables.
Reingeniería de Procesos (BPR)	Esta metodología se basa en el rediseño total o radical, es decir desde cero.	Tiene como resultado cambios drásticos y por ende una alta innovación.	Es una metodología disruptiva, lo cual genera un alto costo y riesgo elevado.	Es reinventar todo lo que se conoce y hacerlo completamente nuevo, no es muy apto para mejorar procesos operacionales.

Tabla 2. Comparativo metodologías de mejora (Elaboracion propia, 2025)

Luego de realizar la comparación entre las distintas metodologías de mejora y diseño de procesos, se determinó que DMAIC es la alternativa más adecuada, dado que se orienta específicamente a la optimización de procesos operativos existentes, ya que las metodologías como BPM, Design Thinking o la Reingeniería de Procesos, buscan rediseñar desde la innovación, las cuales en una industria como la de aluminios no serían las más acertadas debido a la complejidad de los procesos operativos y los estándares de calidad de los productos, mientras que DMAIC no busca rediseñar el proceso desde cero ni generar soluciones creativas

sin sustento cuantitativo, sino identificar y reducir la variabilidad operativa mediante un enfoque completamente basado en datos.

Su estructura permite identificar con precisión la causa raíz que afecta el desempeño operativo, establece métricas claras e indicadores clave de gestión (KPIs) que facilitan medir el impacto de las mejoras. Además, la fase de Control garantiza que dichos avances se mantengan en el tiempo, permitiendo un monitoreo continuo y la estandarización de las mejores prácticas operativas.

Por estas razones, DMAIC se presenta como la opción más sólida y completa para asegurar una mejora sostenible, medible y alineada con los objetivos de eficiencia y desempeño del proceso operativo.

9.1. Metodología DMAIC

Propia del enfoque Six Sigma con sus 5 fases ((Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), permite la mejora de procesos de forma estructurada ((ASQ)).

- Definir: Se identificará y delimitará el problema central: la presencia de defectos internos, errores de medición y devoluciones por reclamos de clientes. Esta etapa permitirá establecer la ruta crítica del proyecto.
- Medir: En esta fase se analizarán los datos históricos del sistema de calidad de la planta, que incluyen variables como orden de producción, aleación, colada, prensa, operario, temple, tipo de defecto y estación donde se genera. Esta información será organizada y depurada para corregir inconsistencias y clasificar los registros según etapa del proceso y frecuencia de ocurrencia. Con ello se construirán tablas y gráficos que permitan

visualizar patrones, establecer líneas base y preparar el insumo técnico necesario para la fase de análisis.

- **Analizar:** Se emplearán herramientas de calidad como el diagrama de Ishikawa, la técnica de los 5 porqués y el análisis de Pareto, con el fin de identificar y clasificar las causas raíz que explican la aparición de defectos y errores de inspección. El enfoque se basará en la Metodología de las 6M (Máquina, Método, Mano de obra, Material, Medio ambiente y Medición), permitiendo distinguir entre variables manipulables y no controlables, y priorizar aquellas con mayor impacto potencial sobre la calidad final del producto.
- **Mejorar:** A partir de los hallazgos obtenidos, se desarrollará una propuesta con tres líneas de acción integradas. Primero, se elaborarán una estructura para la creación de Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) en tareas críticas, con instrucciones claras que reduzcan la variabilidad y prevengan errores. Segundo, se diseñará la estructura del plan de metrología que asegure la confiabilidad de los instrumentos de medición, incluyendo su inventario, hoja de vida, calibración, trazabilidad y control documental. Como tercer punto, se propone un modelo de seguimiento de indicadores de control.
- **Controlar:** Se establecerán mecanismos de seguimiento para asegurar la sostenibilidad de la mejora. Esto incluirá el monitoreo sistemático de indicadores clave como la tasa de defectos internos, el número de devoluciones por reclamos y el grado de cumplimiento en la aplicación de los POE

9.2. Herramientas y técnicas de análisis

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en el proyecto y alineado con el enfoque de consultoría del estudio, se aplicarán herramientas de análisis y priorización orientadas a encontrar las causas raíz de los defectos y su impacto en el proceso de extrusión. Entre ellas se destacan el diagrama de Pareto, causa-efecto (Ishikawa), la técnica de los 5 Porqués y la matriz de priorización, utilizadas para identificar las causas principales, priorizarlas según impacto y agruparlas en categorías que faciliten la formulación del plan de mejora.

10. Involucrados claves y sus expectativas

Involucrados	Expectativas
William García – Gerente	Incremento de la productividad y disminución en los costos directos de fabricación.
Equipo de calidad	Modelo de gestión de que permita gestionar defectos de calidad y devoluciones de clientes
Producción	Mitigación de defectos en procesos de producción y disminución de reprocesos.
Gestión Humana	Fortalecimiento del conocimiento del personal en los procesos operativos, impactando en la cultura organizacional.
Directivos	Mejora de la rentabilidad, a través de la disminución de los costos operativos.
Clientes	Disminución de tiempos de entrega y reducción de las devoluciones.

Tabla 3. Involucrados clave y expectativas (Elaboracion propia, 2025).

11. Supuestos

Para llevar a cabo el proyecto de mejora en la productividad y calidad de los procesos de la planta, se contemplan varios supuestos que proporcionan una base sobre la cual se estructuran las acciones y decisiones del proyecto. Estos supuestos son factores que, aunque no siempre se pueden controlar, se consideran válidos para que el proyecto tenga éxito. A continuación, se presentan los principales supuestos contemplados:

- **Disponibilidad y Compromiso del Personal:** Se asume que el personal de la planta estará disponible para recibir y participar activamente en la implementación de las mejoras propuestas. La capacitación y el compromiso del personal son fundamentales para asegurar que las mejoras en los procesos sean implementadas de manera efectiva. Se espera que los empleados adopten las nuevas prácticas sin resistencia significativa y que se comprometan con la mejora continua.
- **Adecuado Funcionamiento de los Equipos y Herramientas:** Se asume que los equipos de la planta, como los de pintura, temple, fundición, anodizado y extrusión, estarán en condiciones operativas adecuadas para ser optimizados. La optimización de los procesos depende de que los equipos funcionen correctamente. Si algún equipo importante no está operativo o no puede ser ajustado adecuadamente, los resultados del proyecto podrían verse comprometidos. Se asume que se llevará a cabo el mantenimiento adecuado y la calibración de equipos cuando sea necesario.
- **Acceso a Datos y Recursos Necesarios:** Se asume que se tendrá acceso a los datos históricos relevantes sobre el desempeño de los procesos, así como a los recursos técnicos, materiales y humanos necesarios para las mejoras. La propuesta de mejoras requiere información precisa sobre los procesos actuales para realizar un diagnóstico

adecuado y establecer los puntos de intervención. Además, contar con los recursos necesarios (materiales, herramientas, etc.) es esencial para aplicar las soluciones propuestas.

- **Apoyo de la Alta Dirección:** Se asume que la alta dirección de la empresa proporcionará apoyo continuo al proyecto, incluyendo la asignación de recursos y la toma de decisiones clave. El apoyo de la alta dirección es crucial para garantizar que el proyecto cuente con los recursos adecuados, además de proporcionar una cultura organizacional que fomente la mejora continua. Sin este respaldo, los esfuerzos de cambio podrían encontrar resistencia.
- **Estabilidad en el Entorno Económico y de Mercado:** Se asume que el entorno económico y de mercado permanecerá relativamente estable durante el transcurso del proyecto. Los cambios en la economía, como fluctuaciones en los precios de los materiales o la demanda del mercado, pueden afectar la viabilidad del proyecto. Sin embargo, para efectos del proyecto, se asume que el entorno económico no sufrirá cambios drásticos que perjudiquen los resultados esperados.

12. Restricciones

12.1. Limitaciones del Proyecto:

El proyecto podría verse limitado por la falta de información documentada en las diferentes áreas de la planta, el acceso a la información y documentación de los hallazgos puede llevar más tiempo y recursos de los inicialmente previstos. Además, algunas áreas pueden recibir menos atención si el alcance no se ajusta adecuadamente para satisfacer las necesidades de todas las secciones de producción. Esto puede resultar en una mejora desbalanceada de los procesos, afectando los resultados globales.

12.2. Tiempo.

El tiempo disponible para desarrollar la propuesta de la consultoría puede ser una limitación significativa, especialmente cuando se consideran las diferentes etapas del ciclo DMAIC. La falta de tiempo suficiente puede generar sesgos en la información al momento de plantear propuestas de mejora durante el desarrollo de la consultoría, lo cual podría afectar la calidad de los cambios y, en última instancia, los resultados operativos.

12.3. Costo.

Los costos asociados a la propuesta, especialmente en la adquisición de nuevas herramientas o equipos y la optimización de procesos, podrían superar los recursos presupuestados por la compañía. Si los costos se exceden o si no se gestionan adecuadamente, esto podría limitar la capacidad para completar el proyecto en su totalidad o con la calidad deseada. Además, la falta de financiación puede retrasar o incluso interrumpir la implementación de la propuesta.

12.4. Dependencia de Resultados Previos:

La propuesta plantea un enfoque de mejora continua en el que cada etapa dependerá de los resultados obtenidos en fases anteriores. Si una intervención no alcanza los indicadores esperados, será necesario replanificar las acciones relacionadas, lo que retrasará las etapas siguientes. Por eso se prevé validar los resultados antes de avanzar: sin dicha validación, las correcciones sucesivas aumentarán tiempos y costos, y disminuirán la eficiencia global del proyecto.

12.5. Resistencia al Cambio.

La adopción de nuevas metodologías como Lean Six Sigma, implica un riesgo de resistencia por parte del personal. Cuando los equipos no se apropien de las prácticas propuestas, la implementación se ralentiza e incluso puede fallar en lograr los objetivos previstos. Es importante incorporar desde el inicio medidas de gestión del cambio y comunicación que fomenten el compromiso y reduzcan las barreras culturales y operativas.

12.6. Capacidad de Monitoreo y Validación.

La necesidad de un monitoreo continuo y validación de los resultados puede ser un desafío, especialmente si la infraestructura para recolectar y analizar datos no está completamente implementada o es insuficiente. Los costos de implementar sistemas de monitoreo avanzados y el tiempo necesario para analizar los datos pueden superar los recursos disponibles. Sin un sistema robusto de monitoreo, los resultados no pueden ser validados de manera precisa, lo que podría llevar a una falsa percepción de éxito en las etapas iniciales. Además, la falta de datos confiables puede dificultar la toma de decisiones para realizar ajustes en tiempo real.

Para superar estas limitaciones, es esencial una planificación detallada, la asignación adecuada de recursos y la implementación de un enfoque de gestión de cambios que involucre a todos los niveles de la organización. De esta manera, la ejecución del proyecto por parte de la compañía puede avanzar de manera más eficiente y efectiva hacia sus objetivos de mejora en la productividad y calidad de los procesos.

13. Marco teórico

13.1. Gestión de la Calidad Total (TQM)

La Gestión de la Calidad Total (TQM, por sus siglas en inglés) es una filosofía organizacional que promueve la calidad como responsabilidad compartida en todos los niveles de la empresa. Su propósito central es satisfacer al cliente a través de la mejora continua de productos, servicios y procesos, integrando principios de liderazgo, participación del personal y enfoque en procesos ((ASQ), American Society for Quality, 2023).

TQM se basa en una visión sistémica, en la cual todos los departamentos, desde producción hasta administración, contribuyen activamente a la calidad. Se fomenta una cultura centrada en la prevención de errores, la toma de decisiones basada en datos y la participación proactiva de los empleados en la solución de problemas.

Algunos de los principios fundamentales de TQM incluyen:

- Enfoque en el cliente: La calidad se define desde la percepción del cliente; por tanto, sus necesidades y expectativas son el eje de todas las acciones.
- Mejora continua: A través de herramientas como los círculos de calidad, el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) y el benchmarking, se busca optimizar los procesos de manera permanente.
- Participación del personal: Todos los empleados, independientemente de su nivel jerárquico, están comprometidos con la mejora y se consideran parte activa del sistema de calidad.
- Gestión basada en procesos: Se analizan y controlan los procesos clave para garantizar que los resultados cumplan consistentemente con los requisitos establecidos.

- Toma de decisiones basada en datos: Se utilizan herramientas estadísticas como histogramas, gráficos de control, diagramas de causa-efecto y análisis de Pareto para evaluar el desempeño y tomar decisiones informadas.
- Relaciones mutuamente beneficiosas con proveedores: La colaboración con proveedores estratégicos se ve como una extensión de la cadena de valor, asegurando insumos de calidad y tiempos de respuesta eficientes.

TQM ha demostrado ser eficaz en sectores como manufactura, salud, educación y servicios, facilitando la implementación de sistemas de gestión como ISO 9001 y promoviendo una cultura organizacional orientada a la excelencia.

13.2. Mejora Continua y Ciclo DMAIC

La mejora continua es un enfoque de gestión enfocado en la optimización sistemática e incremental de los procesos. Inspirada en la filosofía Kaizen (Imai, 1986), promueve una cultura organizacional orientada a la eficiencia, la calidad y la innovación sostenible. En entornos industriales, como el sector de manufactura, la mejora continua es clave para eliminar desperdicios, reducir defectos y aumentar la productividad.

Dentro de entornos industriales modernos, DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) es el marco metodológico más usado para proyectos de mejora basados en datos. Originado en la estrategia Six Sigma, DMAIC estructura la intervención en cinco fases con herramientas específicas para cada etapa, garantizando que las soluciones se validen y mantengan en el tiempo (Pyzdek & Keller, 2018, págs. 124-125).

- Definir: Se clarifica el problema, se establecen los objetivos del proyecto, se identifican los clientes internos o externos afectados y se delimita el alcance del proceso. En esta

etapa se utiliza el diagrama SIPOC (Supplier-Input-Process-Output-Customer), que ayuda a visualizar el flujo general del proceso y sus principales elementos (Pyzdek & Keller, 2018, págs. 124-125).

- **Medir:** Se recopilan datos confiables del proceso actual para establecer una línea base del desempeño. Se utilizan formatos de recolección de datos, hojas de chequeo y gráficos de tendencia para identificar la magnitud del problema (Pyzdek & Keller, 2018, págs. 124-125).
- **Analizar:** A partir de los datos obtenidos, se identifican y validan las causas raíz del problema. Entre las herramientas más empleadas se encuentran el análisis de Pareto, el diagrama de Ishikawa (causa-efecto) y técnicas estadísticas como la correlación y regresión (Pyzdek & Keller, 2018, págs. 124-125).
- **Mejorar:** Se diseñan, prueban e implementan soluciones que eliminen o mitiguen las causas raíz previamente identificadas. Se aplican técnicas como la lluvia de ideas (brainstorming), la matriz de priorización y el diseño de experimentos (DOE) para seleccionar las mejoras con mayor impacto y viabilidad (Pyzdek & Keller, 2018, págs. 124-125).
- **Controlar:** Se establecen mecanismos de monitoreo para mantener las mejoras alcanzadas. Las cartas de control permiten verificar la estabilidad del proceso, mientras que los procedimientos operativos estandarizados y las auditorías internas aseguran la sostenibilidad del cambio (Pyzdek & Keller, 2018, págs. 124-125).

Este enfoque convierte los datos en decisiones, promueve la disciplina en la mejora continua y permite a las organizaciones desarrollar una ventaja competitiva basada en la excelencia operativa.

13.3. Proceso de extrusión de aluminio

El proceso de extrusión de aluminio implica el uso de una prensa hidráulica para forzar una aleación de aluminio calentada (todavía sólida, pero maleable) a través de un dado de acero. El perfil de aluminio resultante adopta la forma (en sección transversal) de la abertura del dado.

El proceso también requiere el uso de otros equipos antes y después de que el material pase por la prensa.

El material inicial para la extrusión, conocido como “billet” o lingote, se corta a la longitud deseada y se calienta en un horno antes de la extrusión. Después de salir de la prensa, el perfil de aluminio se enfría rápidamente (temple) y luego se somete a una variedad de sistemas adicionales de manipulación.

El proceso de extrusión sigue algunos pasos simples, pero puede generar una gran diversidad de formas y diseños (AEC Aluminium extruders council, 2018).

El proceso se compone de varias etapas que determinan la calidad del producto final: calentamiento del billet, extrusión, tracción mediante puller, estirado y temple. Cada subproceso implica variables críticas que deben mantenerse bajo control para evitar defectos y garantizar la estabilidad productiva.

13.3.1. *Calentamiento del billet*

Según el (AEC Aluminium extruders council, 2018) el billet se calienta entre 400 °C y 480°C, dependiendo de la aleación, para alcanzar la plasticidad necesaria sin provocar fusión parcial. El calentamiento desigual o excesivo puede generar grietas longitudinales, bandas o una estructura heterogénea que afecta el acabado y la dureza del perfil.

13.3.2. *Extrusión*

Durante la extrusión, el billet caliente es introducido al contenedor de la prensa, en el cual es forzado por un embolo a alta presión a forzado a fluir a través de la matriz o molde del cual al otro lado sale uno o varios perfiles de aluminio con la geometría especificada en la matriz (AEC Aluminium extruders council, 2018).

13.3.3. *Sistema de Enfriamiento en Extrusión (Wenching o Quenching)*

El sistema de enfriamiento o "wenching" es una etapa crítica en la extrusión de aluminio, en esta se aplica un temple controlado una vez que el perfil sale del troquel. Su objetivo es lograr una velocidad de enfriamiento específica para "congelar" la microestructura en un estado de sobresaturación y así permitir un posterior endurecimiento óptimo por envejecimiento, parámetros que se detallan en la Tabla 4 proporcionada para cada aleación.

Para cumplir con estos requisitos sin provocar distorsiones excesivas en el perfil, se emplean sistemas combinados de agua pulverizada por boquillas y ventilación. (AEC Aluminium extruders council, 2018)

Aleación	Temp. Mín. Salida Press (°C)	Velocidad Crítica de Enfri (°C/seg)	Rango Crítico de Enfri (°C)	Tiempo de Enfri (seg) a Velocidad Mínima	Tiempo de Enfri (seg) a Velocidad Máxima
6063	499	1.1 - 1.7	449 - 249	180 (a 1.1 °C/seg)	120 (a 1.7 °C/seg)
6063A	499	1.7 - 2.8	449 - 249	120 (a 1.7 °C/seg)	72 (a 2.8 °C/seg)
6005A	510	2.8 - 8.3	460 - 249	76 (a 2.8 °C/seg)	25 (a 8.3 °C/seg)
6001	510	5.6-11.1	460 - 249	36 (a 5.6 °C/seg)	19 (a 11.1 °C/seg)

Tabla 4. Rata de enfriamiento por aleación. (AEC Aluminium extruders council, 2018))

13.3.4. *Puller o sistema de tracción*

El puller es una mordaza motorizada que tiene la función de mantener la tracción y alineación del perfil al salir de la matriz. Si la velocidad de tracción no está sincronizada con la de extrusión, pueden presentarse deformaciones, torsión o pérdida de tolerancia dimensional (AEC Aluminium extruders council, 2018).

13.3.5. *Estirado*

Luego del enfriamiento parcial, el perfil pasa al estirado para eliminar tensiones internas y mejorar la rectitud. Este proceso aplica una elongación controlada de 1 % a 3 %, suficiente para corregir deformaciones sin alterar la geometría. Un exceso de tensión puede causar ovalamiento o pérdida de angularidad (AEC Aluminium extruders council, 2018).

13.3.6. *Temple*

El temple busca estabilizar la microestructura mediante enfriamiento rápido. Dependiendo de la aleación, se utilizan sistemas de aire forzado o duchas de agua. El (AEC Aluminium extruders council, 2018) indica que la velocidad de enfriamiento influye directamente en la dureza final, que para la aleación 6063-T5 suele ubicarse entre HB 65 y 80. Un enfriamiento inadecuado puede disminuir la resistencia o generar fisuras superficiales (AEC Aluminium extruders council, 2018).

13.3.7. *Aleaciones utilizadas*

El proceso emplea aleaciones de la serie 6000, específicamente 6005, 6061 y 6063 las cuales están conformadas principalmente por aluminio, magnesio y silicio Tabla 5. Reconocidas por su buena extruibilidad y respuesta al tratamiento térmico, tienen aplicaciones estructurales (vigas, columnas, ángulos, etc.), arquitectónicas (ornamental, escaleras, etc.) y en la fabricación de componentes estructurales (mecanizados, ensambles, etc.) (AEC Aluminium extruders council, 2018) (ASTM International, 2012).

Aleación	Composición típica	Propiedades mecánicas	Aplicaciones	Norma
6063	Al-Mg-Si (0,45 % Mg, 0,35 % Si)	Alta extruibilidad y acabado superficial; resistencia media	Marcos, perfiles arquitectónicos, mobiliario	ASTM B221 – 6063-T5/T6
6005	Al-Mg-Si (0,6 % Mg, 0,7 % Si)	Mayor resistencia, menor fluidez	Estructuras, marcos de carga	ASTM B221 – 6005-T6
6061	Al-Mg-Si-Cu (0,9 % Mg, 0,6 % Si, 0,3 % Cu)	Alta resistencia, buena maquinabilidad y soldabilidad	Componentes estructurales e industriales	ASTM B221 – 6061-T6

Tabla 5. Aleaciones serie 6000. (ASTM International, 2012)

13.3.8. *Parámetros de Control para la Estabilidad del Proceso de Extrusión*

En la extrusión de aluminio, lograr un producto final de calidad es el resultado de controlar con precisión una serie de parámetros considerados críticos. Sin este control, cualquier esfuerzo por estandarizar procesos se vería comprometido. Por ello, entender y gestionar estos parámetros no es opcional; es la columna vertebral de un sistema de calidad robusto.

A continuación, se presenta un resumen de los parámetros más relevantes para las aleaciones 6005, 6061 y 6063 (ASTM International, 2012).

Etapas del Proceso	Parámetro Crítico	Aleación 6063	Aleación 6005A	Aleación 6061	Propósito/Objetivo
Horno de Lingotes	Temp de Billet	480 - 500 °C	480 - 500 °C	480 - 500 °C	Ablandar el material para la extrusión sin fundir fases de baja fusión.
Extrusión	Temp de Salida del Troquel	~499 °C	~510 °C	~510 °C	Asegurar que los elementos de aleación estén en solución sólida para el temple.
Temple (Quenching)	Velocidad Crítica de Enfriamiento	1.1 - 1.7 °C/s	2.8 - 8.3 °C/s	5.6 - 11.1 °C/s	"Congelar" la solución sólida y evitar precipitación no deseada.
	Rango de Temple Crítico	449°C - 249°C	460°C - 249°C	460°C - 249°C	Ventana de temperatura donde la velocidad de enfriamiento es crucial.
Puller	Fuerza de Tracción (Medición Real en kg-f)	< 100 kg-f	< 100 kg-f	< 100 kg-f	Mantener la tensión y rectitud del perfil caliente, venciendo la fricción del sistema.
Estirado en Frío	Fuerza de Enderezado	Baja	Moderada	Alta	Corregir torceduras y alabeo en el perfil ya endurecido.
Envejecimiento (Horno)	Temperatura / Duración	~175°C / 4-8 h	~175°C / 4-8 h	~175°C / 4-8 h	Formar precipitados de endurecimiento (Mg ₂ , Si) para alcanzar la resistencia mecánica.

Tabla 6. Parámetros críticos de extrusión (ASTM B221-12)

13.4. Indicadores de Desempeño: OEE y KPIs de Calidad

Los indicadores de desempeño permiten medir de manera objetiva la eficiencia de los procesos productivos y la calidad de los productos. Entre los más relevantes en entornos industriales destacan el OEE (Overall Equipment Effectiveness) y los KPIs de calidad, esenciales para tomar decisiones informadas, detectar oportunidades de mejora y sostener procesos eficientes (Nakajima, 1988) (American Society for Quality, 2023).

13.4.1. OEE – Eficiencia Global de los Equipos

Refleja qué tan eficientemente se está utilizando un equipo respecto a su capacidad total. Se obtiene multiplicando tres componentes fundamentales (Nakajima, 1988, págs. 76-79) :

- Disponibilidad: Mide el tiempo efectivo de operación del equipo frente al tiempo total programado, considerando paradas no planificadas.

- $Disponibilidad = \frac{Tiempo\ operativo}{Tiempo\ programado}$

Ecuación 1. Disponibilidad.

- Rendimiento: Evalúa si el equipo produce a la velocidad ideal. Una velocidad por debajo de lo óptimo indica pérdidas por lentitud o micro paradas.

- $Rendimiento = \frac{Unidades\ producidas \times Tiempo\ de\ ciclo\ ideal}{tiempo\ de\ ciclo\ real}$

Ecuación 2. Rendimiento.

- Calidad: Indica el porcentaje de productos que cumplen con las especificaciones de calidad sin necesidad de reprocesos (American Society for Quality, 2023).

- $Calidad = \frac{Unidades\ buenas\ totales}{Unidades\ totales\ producidas}$

Ecuación 3. Calidad.

El OEE total se calcula de la siguiente manera y se expresa en porcentaje. Un OEE del 100% indica una operación sin pérdidas: sin paradas, a velocidad máxima y sin defectos.

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Ecuación 4. OEE

13.4.2. **KPIs de Calidad**

Los KPIs de calidad son métricas diseñadas para evaluar la conformidad del producto, la eficiencia del proceso y la satisfacción del cliente (American Society for Quality, 2023).

- Tasa de defectos: Mide la proporción de productos no conformes respecto al total producido, permitiendo identificar problemas de calidad recurrentes.
- Tasa de retrabajo: Evalúa cuántos productos deben ser corregidos antes de su liberación, lo que refleja ineficiencias internas.
- Índice de reclamaciones de clientes: Relaciona la cantidad de quejas recibidas con el volumen de productos entregados, dando visibilidad sobre la experiencia del cliente.
- Índice de cumplimiento de especificaciones: Indica qué porcentaje de productos cumplen plenamente con los criterios técnicos establecidos.
- Índice de satisfacción del cliente (CSAT o NPS): Se basa en encuestas aplicadas al cliente. El CSAT mide la satisfacción general, mientras que el NPS evalúa la probabilidad de recomendación.

13.5. Metrología Industrial

La metrología es la ciencia de las mediciones y constituye un elemento clave para garantizar la calidad y la confiabilidad en los procesos industriales. Un sistema metrológico adecuado permite asegurar la conformidad del producto, reducir la variabilidad y prevenir defectos (International Organization for Standardization (ISO), 2003) .

13.5.1. *Principios de la metrología*

- Trazabilidad: Capacidad de relacionar resultados de medición con patrones nacionales o internacionales.
- Incertidumbre: Evaluación cuantitativa del error posible en una medición.
- Calibración: Proceso de comparación con estándares conocidos para asegurar la precisión de los instrumentos.

13.5.2. *Gestión del sistema metrológico*

Un sistema eficaz debe incluir:

- Hoja de vida de los equipos.
- Frecuencias de calibración e inspección.
- Registros sistemáticos de intervenciones.

13.6. Impacto en la calidad del producto

El control metrológico es fundamental en industrias de precisión. La falta de calibración puede derivar en productos fuera de especificación, pérdidas económicas y daños en la reputación (International Organization for Standardization (ISO), 2003).

13.6.1. *Costos de no calidad*

De acuerdo con Juran y Godfrey, los costos de la no calidad se clasifican en (Juran, 1999):

- Costos de fallas internas: Reprocesos, desperdicios, tiempos muertos.
- Costos de fallas externas: Devoluciones, garantías, pérdida de clientes.
- Costos de evaluación: Inspección y pruebas.
- Costos de prevención: Capacitación, mejora de procesos.

13.6.2. *Indicadores financieros relevantes.*

- Costo de transformación: Relación entre costos operativos y unidades producidas.
- ROI (Return on Investment): Rendimiento económico esperado por la inversión realizada.
- Payback: Tiempo de recuperación de la inversión.
-

13.7. **Procedimientos Operativos Estandarizados (POE)**

Los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) son documentos técnicos que describen, de forma estructurada, cómo debe realizarse una tarea operativa para garantizar uniformidad, calidad y cumplimiento normativo. En el marco de sistemas de gestión de calidad como ISO 9001 y enfoques de mejora continua como TQM o Lean Manufacturing, los POE constituyen un instrumento clave para reducir la variabilidad, estandarizar buenas prácticas y asegurar la repetibilidad de procesos (Oakland, 2014).

Su importancia radica en que transforman el conocimiento operativo en instrucciones verificables, facilitando la formación, la trazabilidad y la sostenibilidad de mejoras. En entornos industriales, como la extrusión de aluminio, los POE permiten mantener condiciones operativas estables, mejorar la calidad del producto y minimizar errores humanos. Su aplicación contribuye, además, a consolidar el cambio organizacional y a fortalecer la disciplina técnica dentro de la cultura de la empresa.

14. Diagnostico

En el proceso de extrusión de aluminio, estructurado bajo la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), desarrollamos un análisis sistemático y riguroso, que ofrece un marco para identificar las causas raíz, definir planes de acción y establecer mecanismos de control sostenibles en el tiempo, la siguiente Tabla 7 describe cada una de las fases que se desarrollaran a continuación.

Objetivo específico	DMAIC	Descripción	Detalle	Resultado Esperado
Diagnosticar la causa raíz de los defectos internos y devoluciones de clientes.	Definir	Actividades Principales	Identificación de problemas y alcance.	Identificación de causas críticas de defectos internos y devoluciones de clientes.
		Fuentes de información	Base de Datos de Excel Unificado indicadores de Calidad, Fuente interna Ale Aluminios.	
		Herramientas	Pareto de rechazos internos y devoluciones de clientes.	
	Medir	Actividades Principales	Recopilación y caracterización de defectos.	
		Fuentes de información	Entrevista de Gerencia de operaciones, bases de datos de la compañía	
		Herramientas	6M, Diagrama de Ishikawa, 5W 1H	
	Analizar	Actividades Principales	Identificación de causa raíz.	
		Fuentes de información	Información condensada y estructurada para su análisis	
		Herramientas	Referencias	
Estandarización de los procesos operativos críticos.	Mejorar	Actividades Principales	Estrategia de solución: Diseño y manejo correcto de Procedimientos estándar operativos (POE)	Procedimientos estandarizados de procesos críticos y manejo correcto de la documentación.
		Fuentes de información	Manuales técnicos internos de Ale Aluminios.	
		Observación de los procesos en planta.		

		Herramientas	Revisión de procedimientos internos de Ale Aluminios.	
Adopción de un plan de metrología que profundice en Calibración, verificación y mantenimiento de los equipos de medición.	Mejorar	Actividades Principales	Estrategia de solución: Actualización de inventarios de equipos de medición, calibración, verificación y mantenimiento adecuado.	Control de variables de medición en equipos de los procesos operativos.
		Fuentes de información	Listado de Instrumentos, fuente interna Ale Aluminios.	
			Inventario de equipos de medición, Fuente interna Ale Aluminio.	
			Hoja de vida Instrumentos de medición, fuente interna Ale Aluminios.	
		Herramientas	Registros de metrología.	
Proponer un esquema de medición basado en indicadores claves en primer y segundo nivel que apoyan la mejora continua.	Controlar	Actividades Principales	Definición de Indicadores gerenciales y operativos	Tablero de Control, con los Indicadores gerenciales y operativos.
		Fuentes de información	Base de Datos de Excel Unificado indicadores de Calidad, Fuente interna Ale Aluminios.	
		Herramientas	Índice de Capacidad de proceso.	

Tabla 7. Descripción DMAIC (Elaboración propia, 2025)

14.1. Fase Definir: Identificación del problema y alcance

Esta fase del ciclo DMAIC tuvo como objetivo precisar el problema principal del proceso de extrusión de aluminio, establecer su alcance dentro de la planta y definir los objetivos de mejora que guiarían el proyecto.

Durante la revisión inicial del proceso se detectó que la extrusión presentaba un 14 % de rechazo interno y un 7 % de devoluciones externas, según los registros históricos del área de calidad. Estos niveles de no conformidad generaban sobrecostos, retrasos en las entregas y afectaban la percepción de confiabilidad del cliente en los indicadores OTIF (On Time In Full).

Para caracterizar adecuadamente la situación se analizaron las bases de datos de producción, los reportes de rechazo interno y las devoluciones registradas por los clientes. Esta información permitió interpretar los requerimientos mínimos de los clientes, entendidos como una manifestación indirecta de la Voz del Cliente (VOC).

A partir de dicho análisis se identificaron como características críticas de calidad (CTQ) las siguientes:

- Precisión dimensional en los perfiles extruidos.
- Cumplimiento de la dureza especificada en el proceso de temple.
- Acabados superficiales libres de defectos visibles.
- Entregas dentro de los tiempos pactados.

El diagnóstico se centró en el proceso de extrusión y en los subprocesos de Temple, excluyendo las variables relacionadas con el suministro de material (fundición) y los acabados (anodizado y pintura). Aunque estos últimos también influyen en la calidad del producto, no están bajo control directo de la planta en el alcance de esta investigación.

Con esta delimitación, los objetivos de la fase Definir se orientaron a:

- Identificar los defectos con mayor impacto en los rechazos internos y las devoluciones externas, mediante el uso de herramientas estadísticas.
- Determinar los procesos que se encuentran bajo control directo de la planta, priorizando las causas relacionadas con máquina y método, ya que sobre ellas es posible intervenir de manera efectiva.
- Establecer las líneas estratégicas de mejora basadas en dos componentes:
 - Plan de metrología, para asegurar la confiabilidad de las mediciones en las variables críticas.
 - Procedimientos Operativos Estándar (POE'S), orientados a estandarizar las actividades y los parámetros relevantes de cada subproceso.

En esta etapa, por tanto, se definió el marco de acción del proyecto, precisando las fronteras de responsabilidad, los indicadores clave y los objetivos de desempeño que servirán como base para las fases posteriores del ciclo DMAIC.

14.2. Fase Medir: Recopilación y caracterización de defectos

En esta fase se buscó identificar, cuantificar y clasificar los defectos que afectan el desempeño del proceso de extrusión, con el propósito de establecer una línea base sobre la cual se desarrollarán las propuestas de mejora.

La información utilizada provino de los registros del área de calidad, donde se documentan tanto los rechazos internos como las devoluciones externas reportadas por los clientes. Estos datos sirvieron para construir un panorama general del comportamiento del proceso, evidenciando sus principales oportunidades de mejora.

14.2.1. *Balance de Tn procesadas, rechazos y producto conforme.*

Para comprender el comportamiento del proceso, se elaboró un balance de rechazos y PNC con base en registros productivos del año 2024 y el primer semestre de 2025.

El análisis se realizó en términos porcentuales respecto al total procesado, con el fin de mantener la confidencialidad de la información de la empresa.

Se consideraron dos categorías de pérdida:

Rechazo técnico (RT): Pérdidas normales y necesarias del proceso, en este grupo se encuentran los cortes para eliminar la marca de agarre de las mordazas de los equipos de estirado, y un tramo de entre 3 a 5 cm del tocho o tramo de aluminio que al extruir se descarta, porque este retiene mucho material contaminado.

Rechazo de calidad: Agrupa los defectos identificados como: RNT (rechazos internos del proceso de extrusión), PNC (producto extruido que no cumple especificaciones técnicas e identificado en planta) y PQR (productos fuera de especificaciones técnicas reportados por los clientes). Estos rechazos son los que se analizan para proponer las mejoras.

La siguiente tabla resume los valores promedio y mensuales de cada tipo de rechazo:

Fecha	Rechazo técnico	Rechazos de calidad				Rechazo total	% Tn Neta
	% RT	% RNT	% PNC	% PQR	Total, rechazos de calidad		
2024	15%	11%	7%	1%	18%	34%	66%
31/01/2024	16%	11%	5%	0%	16%	32%	68%
29/02/2024	16%	14%	4%	1%	19%	35%	65%
31/03/2024	16%	15%	7%	0%	23%	39%	61%
30/04/2024	15%	10%	2%	0%	13%	28%	72%
31/05/2024	17%	8%	9%	1%	18%	34%	66%
30/06/2024	17%	13%	7%	1%	21%	38%	62%
31/07/2024	15%	10%	6%	0%	16%	31%	69%
31/08/2024	16%	11%	6%	0%	17%	34%	66%
30/09/2024	16%	6%	10%	1%	17%	32%	68%
31/10/2024	15%	8%	9%	1%	18%	33%	67%
30/11/2024	12%	14%	8%	1%	23%	35%	65%
31/12/2024	15%	18%	9%	1%	28%	43%	57%
2025	14%	9%	4%	1%	14%	28%	72%
31/01/2025	12%	10%	3%	1%	14%	27%	73%
28/02/2025	14%	11%	4%	1%	15%	30%	70%
31/03/2025	13%	11%	5%	0%	15%	28%	72%
30/04/2025	16%	10%	4%	0%	15%	30%	70%
31/05/2025	18%	9%	4%	1%	14%	32%	68%
30/06/2025	20%	9%	9%	0%	18%	38%	62%

Tabla 7. Unificación de rechazos 2024-2025 (Elaboración propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025).

Durante 2024, las pérdidas totales representaron en promedio un 34 % del material procesado, con un 18 % asociado a defectos de calidad. El producto conforme alcanzó un 66 %.

En el primer semestre de 2025, los rechazos bajaron a un 28 %, y la eficiencia promedio aumentó al 72 %. Los ajustes realizados al proceso durante este periodo influyeron en la estabilización parcial del proceso. Estos antecedentes sirvieron como punto de partida para estructurar el diagnóstico que aquí se presenta.

14.2.2. *Afectación relativa sobre el costo y margen operativo*

Los defectos no solo afectan la productividad, también inciden directamente en los costos de transformación y reducen el margen bruto de la operación de la compañía. Durante el análisis se estimó que en 2024 las pérdidas impactaron negativamente el margen operativo en 8% y aumentaron los costos en 10%. Para 2025, la tendencia mostró una ligera mejora: el impacto sobre el margen fue de 6% y los costos adicionales se redujeron a 7,5%.

La tabla siguiente resume la afectación estimada para cada año:

Año	Impacto en el margen	Impacto en el costo
2024	-8,0%	10,0%
2025	-6,0%	7,5%

Tabla 8. Afectación del margen y el costo 24-25 (Elaboracion propia, 2025).¹

A pesar de esa mejora, las pérdidas afectan el 7,5% el costo total de producción.

14.2.3. *Identificación y medición del rechazo del proceso*

Con el propósito de organizar la información y dar paso al análisis de causas, se recopilaron todos los defectos registrados por el área de calidad durante el periodo evaluado. Estos registros permitieron determinar los tipos de defectos más recurrentes y su frecuencia dentro del proceso de extrusión. (Ale aluminios, Formato de PNC, 2025).

Vibración	Viramiento	Planeidad	Vena de Matriz
Pega	Diferencia Dimensional	Ondulación	Raya de Matriz
Golpes	Rectitud	Talladura	Matriz Dispareja
Burbuja Ext	Raya de Manejo	Mancha de agua	Banda de Matriz
Pick Up	Perforación	Perfil Abierto	Cortas 1er Lingote
Aspereza	Baja dureza	Alta de peso	Mancha de aceite
Rasgadura	Matriz Rota	Banda Negra	Material Corto
Ovalada	Perfil Cerrado	Angularidad	

Tabla 9. Defectos de extrusión (AEC Aluminium extruders council, 2018).

¹ Los porcentajes muestran la afectación derivada de los costos de transformación aplicados al material en la etapa del proceso que fue rechazado. (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025)

Los datos obtenidos se emplearon para elaborar un análisis de Pareto, con el fin de cuantificar los defectos en tasas de ocurrencia y visualizar cuáles concentran el mayor impacto sobre la eficiencia y la calidad del producto.

14.2.4. *Pareto de rechazo por defectos*

El análisis de Pareto correspondiente al periodo julio de 2024 a junio de 2025 permitió identificar los defectos que representan el 80 % de las pérdidas en el proceso de extrusión y temple. Los resultados mostraron que los defectos más críticos fueron los golpes, la baja dureza, la raya de matriz, el Viramiento y las burbujas de extrusión.

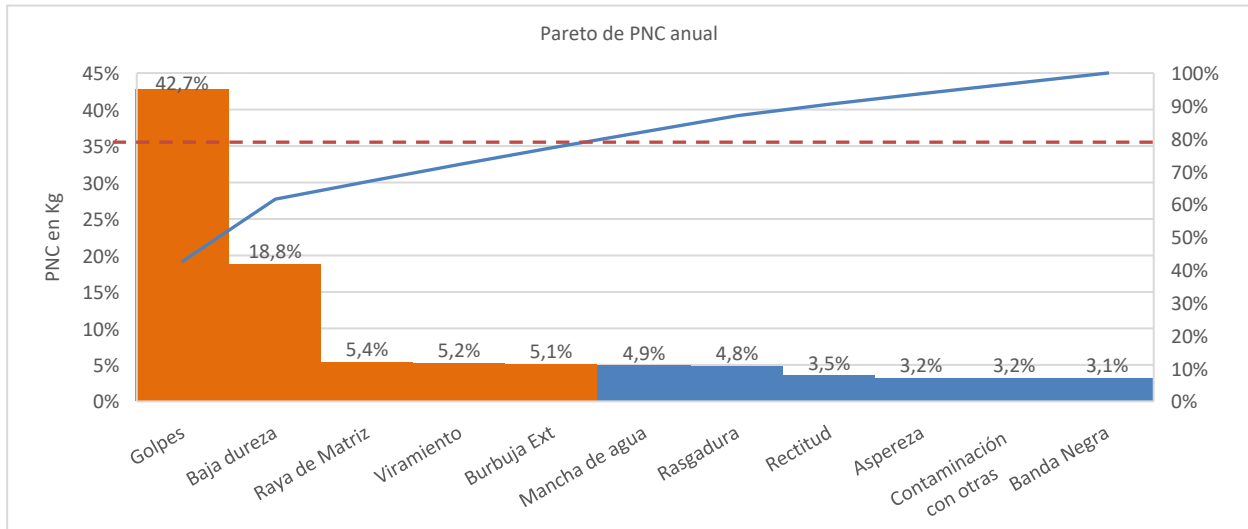


Ilustración 1. Pareto de rechazo interno PNC 08/24 – 07/25 (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025)

El resultado muestra los defectos que más impactan en el rechazo y foco principal para mejorar el recobrado:

Defecto	%
Golpes	42,7%
Baja dureza	18,8%
Raya de matriz	5,4%
Viramiento	5,2%
Burbuja de extrusión	5,1%

Tabla 10. Pareto de PNC (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025).

De manera complementaria, se construyó un Pareto con los datos de devoluciones de clientes para el mismo periodo. En este caso, los defectos geométricos y la baja dureza fueron los de mayor incidencia, concentrando la mayor parte de los reclamos externos.

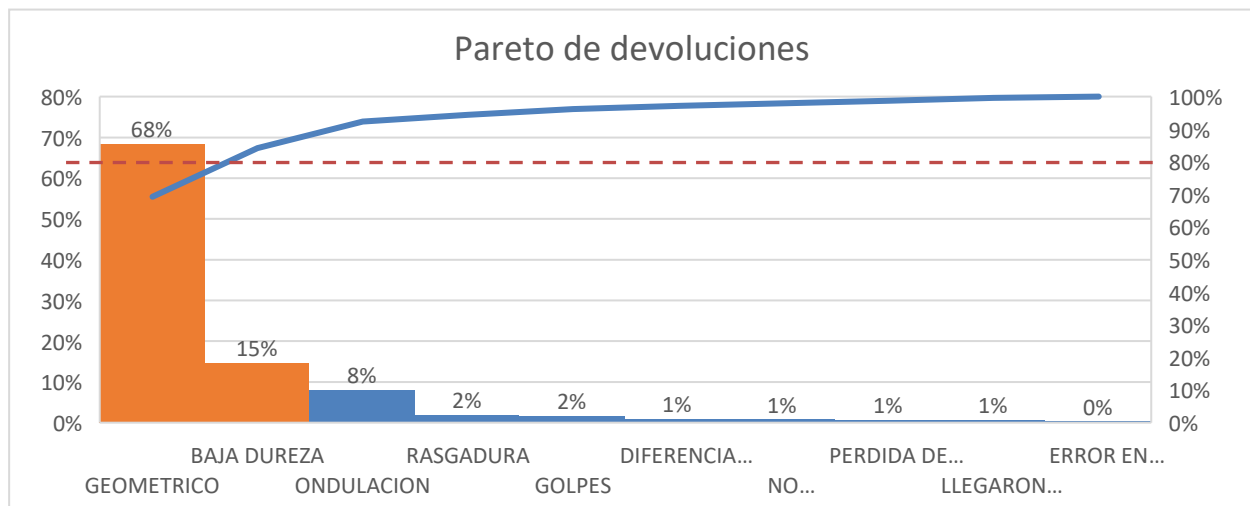


Ilustración 2. Pareto devoluciones PQR 08/24 – 07/25 (Elaboracion propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025).

El resultado muestra los defectos que más impactan en el rechazo y foco principal para mejorar el recobrado Tabla 10:

Defecto	%
Geométricos	68%
Baja dureza	15%

Tabla 11. Pareto de PQR (Elaboración propia, 2025) fuente de datos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025).

El análisis de Pareto permitió jerarquizar los defectos que más contribuyen a los rechazos de calidad del proceso de extrusión, evidenciando que las causas del rechazo se concentran en un número reducido de causas recurrentes. Entre ellas destacan los defectos asociados a golpes, al temple y geométricos, los cuales, de manera combinada, explican gran parte del impacto observado sobre el rendimiento y la estabilidad del proceso. Esta priorización constituye la base para el desarrollo del análisis que permitirá comprender las razones que originan las desviaciones en los parámetros de control y en la calidad final del producto.

14.3. Fase Analizar: Identificación de causas raíz

El propósito de esta fase fue identificar las causas raíz del Pareto de los rechazos y establecer una metodología que permita a la compañía analizar y plantear de manera efectiva las correcciones al proceso que lo requiera.

Las siguientes tablas muestran de manera unificada las 6M (Método, Máquina, Mano de Obra, Material, Medio y Medición) del diagrama de Ishikawa con la herramienta metodológica 5W y 1H y en la última columna de la tabla se establece si la causa tiene potencial de ser solucionada mediante el plan de metrología, los planes operativos estandarizados POE'S o no aplica N/A.

14.3.1. *Causa raíz y método de detección golpes.*

El defecto de golpes se origina principalmente por fallas en la manipulación del perfil durante las etapas posteriores a la extrusión, cuando el material aún conserva temperatura y presenta baja resistencia mecánica. En la mesa de manejo, la ausencia o deterioro de las felpas en los brazos galopantes, así como la falta de alineación o amortiguación, genera deformación puntual en los perfiles. En las áreas de preempaque y temple, el riesgo aumenta por la ausencia de un POE estandarizado de apilado y manipulación, lo que provoca daños al colocar perfiles pesados sobre otros más livianos o en contacto directo con separadores metálicos sin protección.

¿Que?	Categoría 6M	5W1H	Detalle 5W1H	MTR / POE / No aplica
Golpes	Máquina	Que	Perfil con abolladuras o marcas superficiales	POE: Procedimiento de mantenimiento preventivo de mesas de manejo y brazos de transferencia
		Porque	Movimiento irregular o sin amortiguación de los brazos galopantes	
		Donde	En la mesa de manejo a la salida de la prensa	
		Cuando	Durante la transferencia del perfil caliente	
		Quien	Operador de línea de extrusión	
		Como	Golpe del perfil contra brazos o rodillos sin felpa protectora o con desalineación mecánica	
	Método	Que	Perfil con daños por manipulación	POE: Procedimiento de apilado, manejo y transporte interno de perfiles
		Porque	Ausencia de procedimiento de apilado y manipulación estandarizada	
		Donde	Área de preempaque, apilado o carga al horno de temple	
		Cuando	Durante el traslado, apilado o separación de canastillas	
		Quien	Personal operativo de apilado y empaque	
		Como	Colocación de perfiles pesados sobre livianos, uso de separadores sin protección o canastillas en mal estado	
	Material / Medio	Que	Perfil con daño superficial por falta de protección en el entorno	POE: Inspección de canastillas y separadores
		Porque	Falta o deterioro de la felpa protectora en los tubos separadores o puntos de apoyo	
		Donde	Canastillas y carros de transporte	
		Cuando	Antes del apilado o carga al horno de temple	
		Quien	Supervisor de área o encargado de empaque	
		Como	Apoyo directo del perfil sobre metal expuesto que genera marcas o deformaciones por peso.	

Tabla 12. Causa raíz y método de control de golpes (Elaboración propia, 2025)²

² Elaboración propia con base en observación directa del proceso de extrusión, registros internos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025), donde se identificaron las etapas con mayor incidencia de producto no conforme y lineamientos técnicos (AEC Aluminium extruders council, 2018)

La Tabla 12 resume las principales causas y métodos de detección del defecto de golpes. Las acciones correctivas se centran en la implementación de POE específicos para manipulación, apilado y mantenimiento de mesas de manejo, junto con inspecciones rutinarias de canastillas, felpas y brazos de transferencia, lo que permitirá reducir la reincidencia de este defecto y preservar la calidad superficial del perfil antes de su tratamiento final.

14.3.2. *Causa raíz y método de detección de bajo temple o dureza.*

El defecto de baja dureza se presenta cuando los perfiles no alcanzan la resistencia mecánica mínima de las especificaciones después del tratamiento térmico. Este problema está asociado principalmente a desviaciones en el ciclo de temple y envejecimiento, fallas en el control de temperatura en los hornos o errores en la composición química del material. En el análisis se contemplan las causas ligadas al método de temple, la medición de temperatura y la calidad del lingote o billet utilizado, identificando los controles metrológicos y los procedimientos operativos aplicables para su prevención.

¿Que?	Categoría 6M	5W1H	Detalle 5w1h	MTR / POE / No aplica	
Baja dureza	Método	Que	Pérdida de dureza en el perfil terminado	POE: Procedimiento de temple y envejecimiento	
		Porque	Tiempo o temperatura de temple incorrectos		
		Donde	Horno de temple		
		Cuando	Después del tratamiento térmico		
	Quien	Operador de horno			
	Como	Ciclo de temple fuera de curva definida por falta de validación en el registrador de temperatura o error en el sostenimiento del tiempo de exposición			
	Medición	Porque	Lectura incorrecta del sistema de medición de temperatura		MTR: Calibración, verificación y mantenimiento de sensores de
		Donde	Zona de control térmico del horno de temple		

	Quando	Durante los ciclos de temple	temperatura (termocuplas y controladores)
	Quien	Área de mantenimiento y metrología	
	Como	Inestabilidad en el control térmico del quemador, ocasionada por error de medición o calibración de sensores	
	Porque	Exceso de hierro que atrapa parte del silicio, afectando la formación de Mg ₂ Si y limitando el endurecimiento por precipitación.	
Material	Donde	Perfil completo afectado	N/A
	Quando	Según lote de billet recibido	
	Quien	Proveedor de billet	
	Como	Desequilibrio químico en la colada, con bajo magnesio efectivo para la formación de precipitados de endurecimiento.	

Tabla 13. Causa raíz y método de control baja dureza (Elaboración propia, 2025).³

La Tabla 13 evidencia que la baja dureza se origina tanto en desviaciones del proceso térmico como en la composición del material. Las fallas más recurrentes se relacionan con el mal control de la temperatura de temple y la falta de calibración de los sensores, mientras que a nivel metalúrgico, un exceso de hierro reacciona con el silicio formando compuestos no deseados y disminuyendo la disponibilidad de silicio para la formación del compuesto Mg₂ Si, afectando el endurecimiento final del perfil. Las acciones propuestas combinan la estandarización de los ciclos térmicos mediante POE y la implementación de un plan de metrología que garantice la precisión de los sistemas de medición, junto con la revisión periódica de la composición química de los lingotes o billets recibidos.

³ Elaboración propia con base en observación directa del proceso de extrusión, registros internos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025), donde se identificaron las etapas con mayor incidencia de producto no conforme y lineamientos técnicos (AEC Aluminium extruders council, 2018)

14.3.3. Causa raíz y método de detección raya matriz

Las rayas de matriz son defectos superficiales que se presentan como líneas longitudinales en el perfil, originadas por desgaste, incrustaciones o fallas en el mantenimiento de las cavidades de la matriz. Su recurrencia está asociada al uso prolongado sin pulido adecuado y a la omisión de controles visuales previos al montaje.

¿Que?	Categoría 6M	5W1H	Detalle 5w1h	MTR / POE / No aplica
Raya de matriz	Máquina	Que	Perfil con rayas superficiales	POE: Estándar de pulido y mantenimiento de matrices
		Porque	Matriz desgastada, rayada o con residuos metálicos incrustados	
		Donde	Superficie del perfil a la salida de la matriz	
		Cuando	Durante la producción con matrices fatigadas o sin mantenimiento preventivo	
		Quien	Personal de matricería y operador de prensa	
		Como	Fricción irregular entre la superficie de la cavidad y el aluminio extruido	
	Método	Que	Perfil con rayas repetitivas	POE: Estándar de pulido de matrices
		Porque	Falta de seguimiento del protocolo de pulido o control de desgaste	
		Donde	En cavidad de matriz	
		Cuando	Antes de la puesta en marcha o después de cada corrida	
		Quien	Personal de matricería	
		Como	Omisión del pulido o uso de abrasivos no adecuados que dejan micro defectos en la superficie	

Tabla 14. Causa raíz y método de control raya de matriz (Elaboración propia, 2025)⁴.

La Tabla 14 resume las principales causas y métodos de detección, evidenciando que la aplicación rigurosa de los POE de pulido, limpieza e inspección de matrices es fundamental para evitar el deterioro prematuro y garantizar un acabado superficial uniforme.

⁴ Elaboración propia con base en observación directa del proceso de extrusión, registros internos (Aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025), donde se identificaron las etapas con mayor incidencia de producto no conforme y lineamientos técnicos (AEC Aluminium extruders council, 2018)

14.3.4. Causa raíz y método de detección viramiento

El viramiento es la torsión del perfil respecto a su eje longitudinal, lo cual provoca pérdida de rectitud o desalineación en las piezas. Este defecto afecta el montaje y la funcionalidad del perfil, por esta razón exige detección temprana en el proceso de extrusión y ajustes rápidos del proceso. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** clasifica las causas por 6M y muestra los puntos donde debe haber controles: procedimientos operativos para estirado (POE) y verificaciones.

¿Que?	Categoría a 6M	5W1H	Detalle 5w1h	MTR / POE / No aplica
Viramiento	Método	Que	Perfil torcido	POE: Procedimiento de estirado.
		Porque	Herramental para estirado mal seleccionado	
		Donde	Mesa de estirado	
		Cuando	proceso de estirado	
		Quien	Operador de estiradora	
		Como	Tensión inadecuada	
	Maquina	Que	Perfil torcido o con deformación durante extrusión	POE: Procedimiento de control del puller y parámetros de extrusión
		Porque	Tracción insuficiente del puller	
		Donde	Línea de extrusión, zona de salida de matriz	
		Cuando	Durante extrusión continua	
		Quien	Operador de prensa y puller	
		Como	Tensión no homogénea por mal posicionamiento de guías de grafito o desgaste de la matriz	
	Medición	Que	Perfil torcido detectado en inspección dimensional	MTR: Galgas, calibrador angular.
		Porque	Desviación por calibradores fuera de ajuste	
		Donde	Área de control dimensional o salida de extrusión	
		Cuando	En rutinas de medición continua o verificaciones intermedias	
		Quien	Personal de metrología / calidad	
		Como	Lectura inestable por suciedad, desgaste o mala alineación del instrumento durante la verificación	
	Material	Que	Perfil torcido	No aplica.
		Porque	Segregación interna o gradientes térmicos no uniformes durante la fundición del billet.	
Donde		Interno billet.		
Cuando		Según lote.		
Quien		Proveedor billet.		
Como		Metalurgia deficiente.		

Tabla 15.causa raíz y método de control de viramiento (Elaboración propia, 2025)

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra que el viramiento tiene su origen principalmente en la extrusión, debido a tensiones desiguales del puller, guías de grafito mal posicionadas o desgaste en la matriz. El proceso de estirado corrige este defecto y otros además de aportar al temple, pero si se aplica una tensión inadecuada o el perfil se monta torcido entre mordazas, puede agravar la desviación o afectar los espesores del perfil. Las mediciones permiten detectar estas variaciones para aplicar las correcciones para realizar los ajustes necesarios. Para mitigar el defecto y evitar rechazos de grandes lotes, se plantean POE específicos para la calibración del puller, el proceso de estirado y el control dimensional, junto con un plan de metrología que respalde la confiabilidad de las mediciones.

14.3.5. Causa raíz y mitigación de defectos geométricos

Los defectos geométricos agrupan pérdida de angularidad, perfil abierto o cerrado, perfil ovalado o con pérdida de planeidad, este tipo de defectos se originan por tensiones incorrectas durante la extrusión por desajuste en la tensión del puller, defecto de matriz o durante el proceso de estirado.

¿Que?	Categoría 6M	5W1H	Detalle 5w1h	MTR / POE / No aplica
		Que	Ángulos del perfil fuera de tolerancia	
		Porque	Tensiones de estirado aplicadas de forma incorrecta	
		Donde	Mesa de estirado	
Angularidad	Método	Cuando	Durante la calibración de perfiles rectangulares o tubulares	POE: Procedimiento de estirado
		Quien	Operador de estiradora	
		Como	Ajuste manual incorrecto de tensiones de estirado	

	Que	Lecturas angulares fuera de especificación durante el control dimensional	
	Porque	Instrumentos de medición desajustados o calibrados fuera de plazo	
Medición	Donde	Área de control dimensional o inspección final	MTR: Calibrador de ángulos,
	Cuando	En verificaciones de rutina o control final de calidad	galgas patrón
	Quien	Personal de metrología / calidad	
	Como	Error de lectura o desviación causada por desgaste, suciedad o falta de ajuste del calibrador angular	

Perfil abierto o cerrado	Máquina	Que	Perfil con cavidades abiertas o cerradas	
		Porque	Matriz con holgura, desgaste o deformación	MTR:
		Donde	Salida de la matriz	Calibradores,
		Cuando	Durante producción continua	escáner dimensional
		Quien	Área de matricería y operador de prensa	
		Como	Cavidad de matriz fuera de tolerancia	
				Perfil fuera de forma
Método	Que	por parámetros incorrectos	POE:	
	Porque	Velocidad de extrusión y presión mal configuradas	Procedimiento de ajuste de parámetros de	
	Donde	Prensa de extrusión	extrusión	
	Cuando	En producción continua o arranque		
	Quien	Operador de prensa		

		Como	Parámetros aplicados sin estándar definido	
		Que	Perfil abierto/cerrado por billet defectuoso	
		Porque	Segregación interna en billet	
	Material	Donde	Perfil completo	No aplica
		Cuando	Según lote de billet recibido	
		Quien	Proveedor de billet	
		Como	Defecto interno de colada	
		Que	Perfil con sección ovalada	
Ovalada	Máquina	Porque	Desgaste de cavidades de la matriz	MTR:
		Donde	Zona de salida de la matriz	Calibradores, micrómetro
		Cuando	Durante extrusión	
		Quien	Matricería, operador de prensa	

	Como	Holgura o desgaste en cavidad de matriz	
	Que	Perfil con deformación	
	Porque	Control dimensional deficiente	POE:
Método	Donde	Proceso de extrusión	Estándar de
	Cuando	Durante producción continua	control dimensional
	Quien	Operador de prensa	
	Como	Mal procedimiento	
	Que	Perfil ovalado por billet defectuoso	
	Porque	Segregación en lingote	
	Donde	Perfil completo	
Material	Cuando	Según lote de billet recibido	No aplica
	Quien	Proveedor billet	
	Como	Defecto de colada en fundición	

Tabla 16. Causa raíz y mitigación de defectos geométrico (Elaboración propia, 2025) ⁵.

⁵ Elaboración propia con base en observación directa del proceso de extrusión, registros internos (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025), donde se identificaron las etapas con mayor incidencia de producto no conforme y lineamientos técnicos (AEC Aluminium extruders council, 2018)

La Tabla 16 muestra las causas que tienen mayor impacto en la generación de defectos geométricos y las acciones definidas para mitigar o corregir. En la mayoría de los casos, las desviaciones se deben a diferencia de tenciones o desgaste de las matrices. Las mediciones actúan como método de control para identificar oportunamente y realizar los ajustes necesarios en parámetros o realizar el cambio de la matriz cuando se evidencia desgaste.

Para mitigar estas fallas, es necesario desarrollar POE'S enfocados en el proceso de extrusión, estirado, control dimensional y el respectivo plan de metrología para los instrumentos de medición.

Con este análisis se determinó que las causas relacionadas con Material (variaciones químicas, segregaciones, defectos de fundición) corresponden a etapas previas al proceso de extrusión y no son controlables directamente por la planta, por lo cual no se tuvieron en cuenta en las fases de la consultoría.

Las causas asociadas a Máquina y Método representan el mayor potencial de mejora, al estar vinculadas con desgaste de matrices, calibración de equipos, parámetros de proceso y prácticas operativas no estandarizadas, donde se profundizo en estandarización de procesos críticos y plan de metrología para Aluminios Ale.

14.4. Fase Mejorar: Estrategia de solución

Esta fase se orientó a diseñar las acciones necesarias para eliminar o reducir las causas raíz identificadas en la fase anterior. A partir del análisis 6M–5W1H, se concluyó que los defectos más críticos se originan principalmente en las categorías Máquina y Método, lo cual hace posible plantear soluciones directamente controlables por la planta.

Dado lo anterior se definieron dos ejes estratégicos de intervención como son la estandarización de actividades clave del proceso, orientado a reducir la variabilidad por prácticas no uniformes de los operadores. El Plan General de Metrología constituye la integración operativa de los instrumentos, actividades y frecuencias definidas en el sistema de aseguramiento metrológico de Ale Aluminios.

A partir del inventario maestro y de la matriz de mantenimiento y control, se consolidó un calendario que asocia cada instrumento con su fecha de inicio, frecuencia de intervención y tipo de actividad (calibración, verificación o mantenimiento). Este calendario permite programar las actividades de forma diaria, semanal o mensual, según la naturaleza de la tarea y la criticidad del instrumento.

14.4.1. *Lineamientos para la programación del plan*

La programación de este plan se estructuró de forma que sea aplicable y sostenible en el tiempo, para esto se definieron criterios como: cada actividad se programa teniendo en cuenta la disponibilidad del equipo, el tiempo de parada requerido y la capacidad del personal técnico asignado. Se evita la superposición de intervenciones que puedan afectar la producción o generar cuellos de botella en áreas críticas como temple o extrusión, la programación se equilibra con la cantidad de personal disponible en planta, la carga de trabajo semanal y el presupuesto mensual asignado para mantenimiento metrológico. Cuando la demanda supera la capacidad interna, las

actividades son subcontratadas a laboratorios o proveedores acreditados y que cuando los equipos requieren calibración externa se programan de manera que cumplan con las frecuencias establecidas por las normas aplicables y las recomendaciones del fabricante, evitando desviaciones o vencimientos de certificados.

14.4.2. *Ejecución y control*

El planteamiento del calendario se utiliza como base para generar programas de trabajo semanales y mensuales, los cuales son impresos, asignados al personal responsable y controlados mediante reportes de cumplimiento.

Cualquier desviación en fechas o alcance se documenta en los registros de mantenimiento metrológico, asegurando la trazabilidad y continuidad del plan.

El resultado de esta planificación es un programa anual estructurado, que permite a la empresa anticiparse a las necesidades de calibración y mantenimiento, garantizar la disponibilidad de los equipos de medición y mantener la confiabilidad de los resultados en los procesos productivos.

14.5. Hojas de vida de equipos de medición

Cada instrumento cuenta con una hoja de vida metrológica, documento que consolida su información técnica, trazabilidad, historial de calibraciones, mantenimientos, reparaciones y estado actual Ilustración 4.

Estas hojas de vida funcionan como una base de datos histórica, que permite analizar el comportamiento de cada instrumento a lo largo del tiempo, identificar tendencias de desviación, establecer la confiabilidad del equipo y definir acciones preventivas o de sustitución cuando sea necesario..

El registro puede mantenerse en formato físico o digital dentro del sistema de gestión de calidad de Ale Aluminios, asegurando su disponibilidad para auditorías, revisiones internas y análisis de desempeño.

Cada actualización debe contener la fecha de intervención, el responsable, el tipo de servicio realizado, los resultados obtenidos y el estado final del instrumento, garantizando así la trazabilidad total de la gestión metrológica.

De esta manera, las hojas de vida no solo constituyen evidencia documental de cumplimiento, sino también un instrumento de gestión técnica, que alimenta la toma de decisiones en mantenimiento, calidad y mejora continua.

		HOJA DE VIDA DE EQUIPOS O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN					
INSTRUMENTO:							
CODIGO:							
MARCA:							
MODELO:							
SERIAL:							
MAGNITUD:							
UNIDAD DE MEDIDA:							
INDICACION	ANALOGO:						
	DIGITAL:						
INTERVALO DE MEDICIÓN	MIN:						
	MAX:						
ERROR MAXIMO PERMITIDO		ÁREA:		PUESTA EN SERVICIO	D	M	A
REGISTRO DE CALIBRACIONES, MANTENIMIENTOS Y/O VERIFICACIONES							
FECHA	OBSERVACIONES	PRÓXIMA CALIBRACIÓN O VERIFICACIÓN	PROVEEDOR				

Ilustración 4. Hoja de vida instrumentos de medición .

14.6. Integración al sistema

El Plan de Metrología propuesto para Ale Aluminios se integra en el sistema de control de calidad de la planta, con el área de calidad como la principal responsable de coordinar la clasificación, calibración y mantenimiento de los instrumentos de medición. Esta propuesta busca establecer un enfoque claro y sistemático para asegurar que todos los equipos, desde los más sencillos como micrómetros y calibradores manuales hasta los más complejos de control de temperatura y presión, mantengan su precisión y fiabilidad en todo momento.

El área de calidad será la encargada de supervisar que las frecuencias de calibración y mantenimiento definidas en el Plan de Acción Metrológico se cumplan, garantizando que cada instrumento reciba la atención que necesita según su función en el proceso. Mientras que para los instrumentos manuales, el mantenimiento se realizará internamente, los equipos de mayor complejidad requerirán el apoyo de servicios externos especializados para asegurar su calibración adecuada.

La propuesta de implementación de este plan incluirá el registro detallado de cada actividad, con un sistema de gestión de calidad que permitirá hacer un seguimiento constante del estado de los instrumentos. De esta forma, se logrará mantener la trazabilidad y la confianza en las mediciones a lo largo del tiempo, lo que contribuirá a reducir la variabilidad y mejorar la calidad de los productos.

Asimismo, el seguimiento de este plan será posible a través de indicadores de desempeño, como el cumplimiento de las calibraciones programadas, que garantizarán que el plan de metrología se mantenga activo y funcional. Todo esto contribuirá a un proceso de producción más confiable, consistente y alineado con los estándares de calidad de la empresa.

14.7. Conclusión general del Plan de Metrología

El Plan de Metrología desarrollado en Ale Aluminios permite integrar la gestión metrológica al sistema operativo de la planta, fortaleciendo la confiabilidad y trazabilidad de las mediciones en los procesos de extrusión y sus subprocesos.

Con la clasificación, codificación e inventario de los instrumentos, junto con la definición de frecuencias y responsabilidades, se consolidó un modelo preventivo que reduce la variabilidad de las mediciones y asegura la disponibilidad de los equipos de control.

Su aplicación contribuye a mejorar la estabilidad del proceso, disminuir defectos asociados a errores de medición y optimizar el uso de los recursos técnicos y financieros.

La continuidad de su implementación permitirá sostener la mejora del desempeño operativo y la competitividad de la compañía en el largo plazo.

Procedimientos Operativos Estandarizados (POE'S). En los cuales se busca facilitar la transferencia de conocimiento y la formación continua del personal en buenas prácticas operativas y el plan de metrología que garantiza la confiabilidad de las mediciones en variables críticas del proceso de extrusión, temple y empaque, este incluye instrumentos de control dimensional, dureza, temperatura y otros, junto con actividades y frecuencias de calibración.

Plan de Metrología. Permite reducir defectos asociados a geometría, rectitud, dureza y otros parámetros que dependen de la precisión en la medición.

14.8. Fase Controlar: Indicadores y sostenibilidad

La fase controlar tiene como propósito garantizar la permanencia de las mejoras alcanzadas a lo largo del ciclo DMAIC, asegurando que los resultados no se vean afectados con el paso del tiempo ni por variaciones en las condiciones operativas. En esta etapa se definen los mecanismos de control, seguimiento y verificación que permitirán consolidar la estabilidad del proceso y sostener los avances alcanzados en calidad y productividad. El Plan General de Metrología constituye la integración operativa de los instrumentos, actividades y frecuencias definidas en el sistema de aseguramiento metrológico de Ale Aluminios.

A partir del inventario maestro y de la matriz de mantenimiento y control, se consolidó un calendario que asocia cada instrumento con su fecha de inicio, frecuencia de intervención y tipo de actividad (calibración, verificación o mantenimiento). Este calendario permite programar las actividades de forma diaria, semanal o mensual, según la naturaleza de la tarea y la criticidad del instrumento.

14.8.1. *Lineamientos para la programación del plan*

La programación de este plan se estructuró de forma que sea aplicable y sostenible en el tiempo, para esto se definieron criterios como: cada actividad se programa teniendo en cuenta la disponibilidad del equipo, el tiempo de parada requerido y la capacidad del personal técnico asignado. Se evita la superposición de intervenciones que puedan afectar la producción o generar cuellos de botella en áreas críticas como temple o extrusión, la programación se equilibra con la cantidad de personal disponible en planta, la carga de trabajo semanal y el presupuesto mensual

asignado para mantenimiento metrológico. Cuando la demanda supera la capacidad interna, las actividades son subcontratadas a laboratorios o proveedores acreditados y que cuando los equipos requieren calibración externa se programan de manera que cumplan con las frecuencias establecidas por las normas aplicables y las recomendaciones del fabricante, evitando desviaciones o vencimientos de certificados.

14.8.2. Ejecución y control

El planteamiento del calendario se utiliza como base para generar programas de trabajo semanales y mensuales, los cuales son impresos, asignados al personal responsable y controlados mediante reportes de cumplimiento.

Cualquier desviación en fechas o alcance se documenta en los registros de mantenimiento metrológico, asegurando la trazabilidad y continuidad del plan.

El resultado de esta planificación es un programa anual estructurado, que permite a la empresa anticiparse a las necesidades de calibración y mantenimiento, garantizar la disponibilidad de los equipos de medición y mantener la confiabilidad de los resultados en los procesos productivos.

14.9. Hojas de vida de equipos de medición

Cada instrumento cuenta con una hoja de vida metrológica, documento que consolida su información técnica, trazabilidad, historial de calibraciones, mantenimientos, reparaciones y estado actual Ilustración 4.

Estas hojas de vida funcionan como una base de datos histórica, que permite analizar el comportamiento de cada instrumento a lo largo del tiempo, identificar tendencias de desviación, establecer la confiabilidad del equipo y definir acciones preventivas o de sustitución cuando sea necesario..

El registro puede mantenerse en formato físico o digital dentro del sistema de gestión de calidad de Ale Aluminios, asegurando su disponibilidad para auditorías, revisiones internas y análisis de desempeño.

Cada actualización debe contener la fecha de intervención, el responsable, el tipo de servicio realizado, los resultados obtenidos y el estado final del instrumento, garantizando así la trazabilidad total de la gestión metrológica.

De esta manera, las hojas de vida no solo constituyen evidencia documental de cumplimiento, sino también un instrumento de gestión técnica, que alimenta la toma de decisiones en mantenimiento, calidad y mejora continua.

		HOJA DE VIDA DE EQUIPOS O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN					
INSTRUMENTO:		IMAGEN					
CODIGO:							
MARCA:							
MODELO:							
SERIAL:							
MAGNITUD:							
UNIDAD DE MEDIDA:							
INDICACION	ANALOGO:						
	DIGITAL:						
INTERVALO DE MEDICIÓN	MIN:						
	MAX:						
ERROR MAXIMO PERMITIDO		ÁREA:		PUESTA EN SERVICIO	D	M	A
REGISTRO DE CALIBRACIONES, MANTENIMIENTOS Y/O VERIFICACIONES							
FECHA	OBSERVACIONES	PRÓXIMA CALIBRACIÓN O VERIFICACIÓN	PROVEEDOR				

Ilustración 4. Hoja de vida instrumentos de medición .

14.10. Integración al sistema

El Plan de Metrología propuesto para Ale Aluminios se integra en el sistema de control de calidad de la planta, con el área de calidad como la principal responsable de coordinar la clasificación, calibración y mantenimiento de los instrumentos de medición. Esta propuesta busca establecer un enfoque claro y sistemático para asegurar que todos los equipos, desde los más sencillos como micrómetros y calibradores manuales hasta los más complejos de control de temperatura y presión, mantengan su precisión y fiabilidad en todo momento.

El área de calidad será la encargada de supervisar que las frecuencias de calibración y mantenimiento definidas en el Plan de Acción Metrológico se cumplan, garantizando que cada instrumento reciba la atención que necesita según su función en el proceso. Mientras que para los instrumentos manuales, el mantenimiento se realizará internamente, los equipos de mayor complejidad requerirán el apoyo de servicios externos especializados para asegurar su calibración adecuada.

La propuesta de implementación de este plan incluirá el registro detallado de cada actividad, con un sistema de gestión de calidad que permitirá hacer un seguimiento constante del estado de los instrumentos. De esta forma, se logrará mantener la trazabilidad y la confianza en las mediciones a lo largo del tiempo, lo que contribuirá a reducir la variabilidad y mejorar la calidad de los productos.

Asimismo, el seguimiento de este plan será posible a través de indicadores de desempeño, como el cumplimiento de las calibraciones programadas, que garantizarán que el plan de metrología se mantenga activo y funcional. Todo esto contribuirá a un proceso de producción más confiable, consistente y alineado con los estándares de calidad de la empresa.

14.11. Conclusión general del Plan de Metrología

El Plan de Metrología desarrollado en Ale Aluminios permite integrar la gestión metrológica al sistema operativo de la planta, fortaleciendo la confiabilidad y trazabilidad de las mediciones en los procesos de extrusión y sus subprocesos.

Con la clasificación, codificación e inventario de los instrumentos, junto con la definición de frecuencias y responsabilidades, se consolidó un modelo preventivo que reduce la variabilidad de las mediciones y asegura la disponibilidad de los equipos de control.

Su aplicación contribuye a mejorar la estabilidad del proceso, disminuir defectos asociados a errores de medición y optimizar el uso de los recursos técnicos y financieros.

La continuidad de su implementación permitirá sostener la mejora del desempeño operativo y la competitividad de la compañía en el largo plazo.

15. Procedimientos Operativos Estandarizados (POE'S).

Estructurar de manera adecuada los procedimientos operativos, constituye una estrategia esencial dentro del marco de mejora continua y gestión de la calidad, ya que el enfoque principal de los procedimientos es garantizar la estandarización de los procesos operativos que impactan en el 80% de los defectos detectados en los paretos de producto no conforme del proceso de calidad y devoluciones de producto del proceso comercial.

Estos procedimientos formalizan las condiciones operativas, responsabilidades del personal involucrado en los procesos y los controles requeridos para garantizar la estabilidad del proceso y la conformidad del producto con las especificaciones técnicas establecidas por el proceso de control de calidad para cada producto.

Al documentar los procesos críticos del proceso de producción, se obtienen beneficios directos para la compañía en cuanto a estandarización operativa, ya que cada actividad es descrita con parámetros técnicos, límites de control y responsables definidos, reduciendo la variabilidad asociada al criterio de calidad para cada operario, asegurando que los ciclos de extrusión, temple y empaque se realicen bajo las mismas condiciones de temperatura, presión, velocidad, enfriamiento y empaque. Adicional los formatos y registros asociados permiten un seguimiento sistemático de las variables críticas, impactando en el control y trazabilidad de los procesos, facilitando identificar a tiempo desviaciones y sus acciones correctivas inmediatas, con base en lo anterior la experiencia empírica de los operarios se fortalece con conocimiento organizacional formal, asegurando que las practicas optimas se mantengan ante cambios de personal o turnos de trabajo, lo cual reduce la dependencia de la experiencia individual y consolida la trasferencia de conocimiento técnico dentro de los procesos críticos de producción.

La creación de los procedimientos de extrusión, temple y empaque, mitigan los defectos de calidad, ya que proveen un método reproducible y documentado que asegura que todos los operarios trabajen bajo los mismos parámetros técnicos, facilitan la identificación y eliminación de causas de variabilidad en los procesos, integran los controles necesarios para mantener la conformidad del producto y generan fuentes de información confiables en la gestión de indicadores para el proceso de producción, dado lo anterior los procedimientos fortalecen la madurez del proceso de producción, reducen desperdicios y mejoran la gestión de calidad en producto no conforme.

La elaboración de Procedimientos Operativos Estándar (POE), se realiza siguiendo una metodología de control de información documentada de forma clara, práctica y aplicable en cada uno de los procesos críticos de producción, que incluye generalidades, autoridad y responsables por proceso.

15.1. Metodología de control de información documentada.

Con el fin de elaborar procedimientos robustos y confiables, se establece una metodología de control de información documentada para el proceso de Calidad de Aluminios ALE, en la cual se indica que, para la elaboración de procedimientos, codificación, emisión, revisión, aprobación, modificación, actualización, control de cambios y retiro de obsoletos, se deben cumplir las siguientes definiciones generales:

Almacenamiento: Poner o guardar en archivo de tal forma que se reduzca al mínimo el riesgo de deterioro, daño o pérdida, además registrar información en la memoria de un ordenador.

Aprobación: Aceptación de un documento que garantiza su aplicación desde el punto de vista del cumplimiento y coherencia con la Gestión de Calidad.

Backup: Copia de seguridad que permite guardar y almacenar los archivos en un soporte informático como un ordenador o nube y tiene el objetivo de permitir la recuperación de estos datos posterior a un fallo.

Cambios: Actividad que ante una necesidad de actualización, se realiza modificación a los documentos puede ser de forma o fondo.

Copia controlada: Es el documento copia del original vigente, de circulación interna. No puede reproducirse parcial ni totalmente sin autorización de Calidad, pueden emitirse copias controladas cuando los procesos lo requieran.

Copia no controlada: Es el documento con posibles características del original para lo cual no se prevé controles de cambio, se emite con fines informativos y no se actualiza.

Documento interno: Son los documentos elaborados por los procesos internos de la organización incluidos los procedimientos.

Documentos obsoletos: Es un documento que ha perdido su vigencia por contenido o fecha.

Elaboro: Cuando se reúne la información y se prepara el documento.

Formatos: Es un documento que permite registrar información en tiempo real y datos de un proceso específico.

Identificación: Los documentos pueden ser identificados con Nombre, Código, logo.

Información: Datos que poseen trazabilidad de los procesos registrados.

Plan: Documento que contempla en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, directrices y técnicas en tiempo y espacio.

Procedimiento: Forma detallada para llevar a cabo un proceso estandarizado y responsables del proceso.

Proceso: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.

Registro: Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas en los procesos.

Revisión: Cuando se verifica la adecuación de los documentos, sea por versión inicial o cuando sea necesario un cambio.

15.2. Autoridad y Responsabilidad.

En el proceso de documentación se establecen autoridades y responsabilidades, para los líderes de procesos, que incluyen asegurar que las versiones pertinentes de los documentos se encuentren disponibles, garantizar la conservación y recuperación de la información documentada, realizar la creación o modificación de la información documentada, hacer la revisión y aprobación de los documentos, informar la necesidad de modificar o actualizar documentación e identificar los cambios y el estado de revisión actual de los documentos.

15.3. Condiciones generales en el manejo correcto de la documentación.

En el proceso de documentación se establecen condiciones necesarias para dar un manejo correcto y trazable de los procesos que se manejan en la compañía, en los cuales están la protección de los registros físicos que estará dividida en Archivo de proceso (lugar de trabajo y responsable el líder de proceso), se mantendrán copias controladas y vigentes de la documentación de los procesos en la red interna (servidor), la consulta se realizará de forma periódica por cada dueño de proceso o a quien defina el líder del proceso, las solicitudes de elaboración, modificación o eliminación de los documentos de gestión de calidad son a través de correo electrónico, la asignación de código de cada documento está relacionada con el orden consecutivo del listado maestro de documentos de cada proceso, cada dueño de proceso debe

administrar el listado maestro de documentos y registros de su proceso o a quien le asigne y mantendrá actualizado en el servidor, el documento es actualizado en su versión y fecha de emisión, una vez aprobado, queda registrado por el líder de proceso (o a quien asigne el líder) en listado maestro de documentos.

Si un documento en el ejercicio de revisión conlleva la unificación de otros, será decisión del proceso teniendo como referente el objetivo del nuevo documento, considerarlo como nuevo o cambio de versión, los documentos que pertenecen a cada proceso no tienen definido un tiempo de revisión, pero serán revisados los documentos o instrucciones de trabajo y registros cuando se identifica un método más eficiente de realizarla la actividad definida en el documento, cuando hay cambio en las jefaturas de los procesos, la elaboración del documento nuevo o modificación que se va a realizar está a cargo del solicitante/líder de proceso o designado por el líder, los documentos se revisan y actualizan cada vez que se genere un cambio en el proceder, se evidencie repetición de fallas o cuando se modifique o incluya el sistema de control de algún registro asociado al documento, para definir el desarrollo de las actividades de los procedimientos pueden realizarse mediante diagrama de flujo del proceso o en caso de que se determine puede hacerlo en prosa.

Con el fin de preservar la integridad, información e identidad está prohibido compartir información clave y sensible de la compañía, imprimir documentos sin la previa autorización del líder de proceso, realizar cambios en la estructura documental de los documentos.

No es obligatorio la firma del documento por parte del responsable del proceso y para la revisión y aprobación y publicación, siempre y cuando cumpla con las disposiciones establecidas, los controles de cambio se visualizan también con el listado maestro de documentos y registros de cada proceso, cuando se realice un cambio en un documento y esto afecta a otro

proceso o trabajador diferente al que genera el cambio. El proceso responsable del cambio/líder debe socializar a los involucrados afectados del cambio del documento.

El tipo de letra en que debe estar el documento puede ser Arial o Tahoma, el tamaño de la letra es de 11 en documentos y para los registros de acuerdo con las características de este, cuando se guarda el documento en Word o Excel debe nombrarse en mayúscula así: Código, Nombre completo del documento (como está definido internamente) y abreviatura de versión con la definición de la versión que le aplica.

Ejemplo: P-PR-01 EXTRUSIÓN V.(x).

Todo documento debe estar paginados numéricamente en la parte inferior derecha de la hoja (Pie de página - Color de fuente – texto gris) con el número consecutivo que le corresponda a cada página, seguido de un símbolo / y continua con el número total de páginas que se genera en todo el documento.

15.4. Elaboración de documentos controlados.

Todas las personas de la compañía tienen la autoridad de iniciar o solicitar la creación, modificación de un documento, verificar que en el Sistema Documental se encuentran los documentos requeridos en su área y de asegurar que solamente están en uso los documentos vigentes

El personal que maneje copias físicas controladas de los documentos tiene la responsabilidad de su conservación en buen estado y de dar aviso a la gestión de calidad acerca de la existencia de documentos obsoletos o en mal estado en los puntos de uso.

Dado lo anterior se establecen parámetros en la creación de documentos de la compañía, con el fin de unificar conceptos y mantener la documentación controlada por proceso, estos

parámetros incluyen el encabezado, cuerpo y pie de página para todos los documentos controlados de la compañía.

15.4.1. *Encabezado de documentos controlados*

En el proceso de elaboración de documentos el encabezado debe estar en cada hoja y contiene:

- Logo tipo de Ale: Debe estar ubicado en la esquina superior izquierda del documento.
- Tipo de documento: Designación de acuerdo con el tipo de documento que se requiera realizar (en mayúscula sostenida).
- Título del documento: Nombre de identificación del documento. (en mayúscula sostenida)
- Código: Codificación del documento. Número de identificación del documento. Lado superior derecho (Definido de acuerdo con el documento y el proceso).
- Versión: Versión actual del documento. Lado derecho central del recuadro.
- Fecha de Emisión: Fecha desde la cual el documento entra en vigencia (a partir de la fecha de aprobación) y luego de una modificación o actualización será la fecha de la última aprobación. Lado derecho inferior del recuadro (dd/mm/aaaa).

	TIPO DE DOCUMENTO	CÓDIGO	X-XX-XX
	TÍTULO DEL DOCUMENTO	VERSION	XX
		FECHA DE EMISIÓN	dd/mm/aaaa

Ilustración 5. Encabezado de documentos controlados.

15.4.2. Codificación de los documentos

El código se establece a partir de la clasificación del proceso al cual pertenece el documento, tipo de documento y consecutivo como se muestra a continuación y/o lo definido en el listado maestro de documentos:

Ejemplo:

P-GG-01		
P	-	GG
-	-	01
Tipo de Documento	Código del Proceso	Consecutivo
Carácter 1	Carácter 2	Carácter 3

Ilustración 6. Ejemplo de codificación .

Se define el siguiente sistema de codificación para los documentos y designa el proceso al que pertenece el documento de acuerdo con el mapa de procesos:

SIGLA	PROCESOS
ESTRATÉGICOS	
GG	Gerencia General
MISIONALES	
GO	Gerencia de Operaciones
RH	Gerencia de Recursos Humanos
PR	Producción
APOYO	
CC	Control de Calidad
MR	Matrices
MT	Mantenimiento
CO	Compras
CD	CDI

Tabla 20. Siglas para cada proceso de la compañía .

Cuando existan cambios en el mapa de procesos o cambios en los nombres de los procesos se realizará el respectivo cambio de nombre del proceso sea por modificación o creación, cambio de posición entre los diferentes niveles de proceso, Estratégicos, Misionales, Apoyo.

Se define el número Consecutivo del documento el cual debe comenzar con el 01 y la codificación va por proceso, entre los diferentes tipos de caracteres va un guion (-) que los separa.

Ejemplo: Procedimiento de gestión humana: P-RH-01

Para la actualización o modificación en la versión (Número de edición del documento), una vez aprobado el documento comenzará en la versión 01 e irá aumentando en uno cada vez que se efectúe una modificación en el mismo, en la Fecha de Emisión (día (dd) mes (mm) año (aaaa)) entre los caracteres de año, mes y día va un guion (-) que los separa, y para el número de páginas que conforman el documento, la numeración de las hojas del documento, se ubicará en la parte inferior derecha, en este espacio se coloca el número de la página seguido del número de páginas totales del documento (X de Y).

15.4.3. *Contenido de los documentos*

Se definen en el contenido ítems necesarios para identificar de manera general pasos críticos en cada proceso como son describir los objetivos con la intención del documento en términos del Qué y el para qué, especificar el alcance es decir con que actividad inicia el procedimiento y donde termina.

Describir las definiciones de las siglas o abreviaturas, dando la definición de términos desconocidos y/o técnicos propios del procedimiento que son necesarios para su ejecución y relacionar en orden alfabético lo términos o definiciones.

En el desarrollo de las actividades se debe iniciar con un solo verbo rector en infinitivo, la descripción de las actividades debe seguir un orden lógico, no iniciar la descripción de las actividades con el planteamiento de una decisión, sólo se deben incluir actividades que generen valor, no relacionar actividades como imprimir documento, contestar correo, etc., se pueden especificar en un cuadro o se puede describir en párrafos bien definidos, si para las actividades se decide por el cuadro especificado y una de esas actividades no tiene asociado un documento o registro no se deja la casilla de “Registros” vacía si no que se define como N.A.(No Aplica).

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	REGISTROS	RESPONSABLE

Ilustración 7. Desarrollo de actividades .

En los documentos asociados, relacionar los documentos que son utilizados en la ejecución de las actividades, y para el control de cambios del documento, registrar brevemente los cambios que se presenten en el documento como notificación en el cuerpo del correo donde se divulga al personal involucrado en los procesos descritos en este, los cambios realizados y relacionar en listado maestro de documentos y registros según la versión que se modifica y fecha de emisión.

En cada carpeta de los documentos del servidor debe crearse una carpeta de “Obsoleto” para incluir allí los documentos obsoletos de las versiones anteriores como parte del control de cambio y la historia trazable del documento.

En el elaborado/modificado – Revisado – Aprobado (3 columnas) Se debe identificar quien aprueba, revisa y elabora el documento con el siguiente recuadro, con nombre y apellido legible (Color de fuente – texto negro), para el cargo (Color de fuente – texto gris) Tamaño del texto-letra menor al nombre.

ELABORADO/MODIFICADO:	REVISADO:	APROBADO:
Nombre Cargo	Nombre Cargo	Nombre Cargo

Ilustración 8. Control de cambios .

Para los anexos, se adjuntan al final de procedimiento, relacionando los documentos (ejemplo: graficas, tablas, cuadros, etc.) que pueden dar mayor entendimiento en el desarrollo del procedimiento.

En el control de Documentos Externos, cuando un líder de Proceso identifique la necesidad de apoyar su proceso con un Documento de Origen Externo para cumplir con los requisitos de la Gestión de Calidad, hará su adquisición y lo registrara en el Listado Maestro de Documentos Externo cómo documento externo controlado y en el control de Documentos Obsoletos, manejar en la carpeta del servidor de cada proceso, las carpetas creadas para los documentos inactivos u obsoletos, una vez la versión sea actualizada o eliminada, queda en servidor una copia inactiva digital del documento para trazabilidad, es responsabilidad de cada uno de los usuarios/líder de proceso o su asignado retirar los obsoletos de sitios de trabajo a fin de evitar uso involuntario de éste y se mantendrán copias controladas y vigentes de la documentación de los procesos, de acuerdo a lo actualizado en la carpeta del servidor.

Monitoreo y Validación.

Una vez desarrolladas las estrategias de mejora, basadas en el Plan de Metrología y los Procedimientos Operativos Estándar, se requiere establecer un sistema de control que permita monitorear las variables críticas de calidad (CTQ) y detectar desviaciones respecto a los parámetros definidos. Este control debe ser continuo y apoyarse en la gestión de indicadores confiables, que faciliten la toma de decisiones tanto a nivel operativo como gerencial.

Los mecanismos de control propuestos se centran en dos niveles de seguimiento complementarios como son indicadores de primer nivel (gerenciales) los cuales reflejan el desempeño global del sistema en términos de eficiencia, costos de no calidad, niveles de rechazo interno, devoluciones de cliente y recobrado e indicadores de segundo nivel (operativos) los cuales permiten realizar seguimiento diario a las causas raíz mediante análisis de Pareto, control de calibraciones del plan de metrología y gestión visual de defectos.

Se propone que estos indicadores sean integrados en un sistema de gestión de desempeño que permita a la organización evaluar la efectividad de las acciones implementadas y asegurar la mejora continua del proceso.

16. Plan de Metrología

El Plan de Metrología que se propone a continuación, se constituye como una herramienta técnica y de gestión orientada a garantizar la confiabilidad, trazabilidad y repetibilidad de las mediciones en los procesos productivos de Ale Aluminios, con especial enfoque en la línea de extrusión y sus subprocesos de matricería, extrusión, temple, estirado, preempaque y empaque.

El propósito del plan es consolidar un sistema integral de aseguramiento metrológico que permite contar con mediciones confiables en los puntos críticos del proceso y que ha permitido reducir la variabilidad en los equipos de control y fortalecer la detección temprana de defectos, el control efectivo de variables críticas y el cumplimiento de los objetivos de calidad y desempeño operacional establecidos por la planta.

16.1. Clasificación e identificación de instrumentos de medición

El aseguramiento metrológico dentro del sistema de control de Ale Aluminios inicia con la clasificación y correcta identificación de los instrumentos de medición empleados en los distintos subprocesos de la línea de extrusión, temple, matricería, estirado, preempaque y empaque.

Esta etapa constituye la base del plan, pues permite garantizar la trazabilidad de las mediciones, definir prioridades de control y establecer las rutinas de calibración, verificación y mantenimiento que aseguran la confiabilidad de los resultados.

La organización metrológica de los instrumentos también contribuye a la optimización del control dimensional y térmico del proceso, dado que cada equipo cumple un rol específico dentro del flujo productivo. En consecuencia, su clasificación facilita la asignación de responsabilidades, la programación de intervenciones y el análisis de tendencias de desempeño.

16.1.1. *Criterios de clasificación*

Para estructurar el sistema de aseguramiento metrológico, se propone la agrupación de los instrumentos considerando los siguientes criterios técnicos:

- Magnitud controlada: longitud, masa, temperatura, presión o dureza.
- Función dentro del proceso: control de variables críticas o verificación de producto final.
- Tipo de aplicación técnica: medición física, mecánica o térmica.

Estos criterios permiten establecer el nivel de criticidad metrológica de cada instrumento, priorizando aquellos que impactan directamente la estabilidad del proceso de extrusión, la calidad del temple y las tolerancias dimensionales de los perfiles.

16.1.2. *Clasificación operativa de los instrumentos en Ale Aluminios*

De acuerdo con los criterios anteriores, los instrumentos utilizados en los procesos productivos de la planta se agrupan en cuatro categorías principales:

- Instrumentos dimensionales: Son los equipos utilizados para verificar las medidas físicas de las piezas producidas en la planta, asegurando que cumplan con los planos y tolerancias requeridas. Incluyen calibradores, micrómetros, reglas y comparadores, que permiten controlar dimensiones críticas en los procesos de corte, extrusión o ensamble. Su correcta calibración es clave para garantizar la precisión del producto y evitar rechazos por errores dimensionales.
- Equipos de ensayo y propiedades mecánicas o superficiales: Estos equipos se usan para comprobar que los materiales y productos finales tengan la resistencia, dureza o acabado superficial adecuados. En la planta sirven para verificar que los tratamientos térmicos o superficiales se hayan realizado correctamente y que las piezas cumplan las exigencias de durabilidad o apariencia establecidas por el cliente.

- **Instrumentación:** Estos instrumentos se utilizan para monitorear y controlar variables críticas del proceso, como la temperatura en hornos o el nivel de presión en sistemas hidráulicos y neumáticos. Equipos como termómetros, pirómetros, manómetros y controladores garantizan que las condiciones de operación sean seguras y estables, y que el producto mantenga la calidad esperada.
- **Masa y peso:** Los equipos de masa y peso permiten controlar la cantidad de material que se utiliza o se entrega, asegurando la uniformidad de los productos y el cumplimiento de normas comerciales. En planta se emplean básculas, balanzas o pesas patrón para verificar el peso de perfiles, componentes o productos terminados, ayudando a mantener la trazabilidad y confiabilidad del proceso productivo.

La Tabla 17 presenta el listado de instrumentos actualmente identificados en la planta, clasificados como se indicó anteriormente Criterios de clasificación; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tipo de medición	Instrumento	Magnitud controlada	Uso principal en planta
Instrumentos de medición dimensional	Escuadra	Longitud / Ángulo	Verificación de perpendicularidad y geometría en perfiles y moldes
	Flexómetro	Longitud	Medición rápida de dimensiones generales de perfiles o piezas
	Galga	Espesor / Separación	Control de holguras, espesores o tolerancias en procesos de ajuste
	Goniómetro	Ángulo	Control de ángulos en matrices y perfiles
	Micrómetro	Longitud / Diámetro	Medición precisa de espesores, diámetros y tolerancias finas
	Pie de rey	Longitud / Diámetro	Control dimensional general en perfiles y componentes
Equipos de ensayo y propiedades mecánicas o superficiales	Durómetro	Dureza (HRB, HRC)	Evaluación del temple y verificación de dureza en perfiles extruidos
	Máquina universal de ensayo	Carga / Resistencia / Elongación	Determinación de propiedades mecánicas del material
	Medidor de espesor	Espesor de película seca	Control de calidad del recubrimiento en línea de pintura

	Espectrómetro	Composición química	Análisis de aleaciones y control de materia prima
Masa y peso	Celda de carga	Peso / Masa	Pesaje de materiales en proceso o producto intermedio
	Báscula bajo perfil	Peso / Masa	Pesaje de paquetes o contenedores de perfiles terminados
	Báscula camionera	Peso / Masa total	Control de ingreso y salida de materia prima y producto terminado
	Báscula de plataforma	Peso / Masa	Pesaje de materiales en proceso o producto intermedio
	Pirómetro	Temperatura superficial	Control de temperatura de perfiles durante la extrusión
Instrumentación industrial	Controlador de temperatura	Temperatura de proceso	Monitoreo y ajuste de temperaturas en hornos de temple o extrusión
	Termocupla	Temperatura	Control de temperatura en hornos, baños térmicos y procesos de temple
	RTD	Temperatura	Medición de temperatura con alta precisión y estabilidad
	Manómetro	Presión	Control de presión en sistemas hidráulicos y neumáticos
	Termómetro	Temperatura	Verificación de temperatura
	Presostato	Presión (conmutación)	Activación de alarmas o control de presión en sistemas hidráulicos

Tabla 17. Instrumentos según magnitud controlada (Elaboración propia, 2025) fuente de datos (Ale Aluminios, Listado maestro de equipos, 2025).

16.1.3. *Aplicación de la clasificación en el control del proceso*

Esta clasificación operativa permite a Ale Aluminios definir estrategias diferenciadas de control metrológico en función del impacto del instrumento sobre la calidad del producto y la estabilidad del proceso.

Por ejemplo:

- En temple, los pirómetros y termocuplas se priorizan por su influencia directa en la dureza y estructura del material.
- En matricería, los micrómetros y galgas se consideran críticos por su efecto sobre la precisión geométrica de los perfiles.
- En empaque, las básculas de control garantizan uniformidad en la entrega al cliente y evitan errores de facturación o rechazo.

De esta manera, la clasificación no solo cumple una función documental, sino que se integra al sistema de control operativo y de calidad, asegurando que cada instrumento reciba el tipo de atención metrológica que requiere según su función y nivel de criticidad.

16.2. Codificación de instrumentos de medición

La codificación de los instrumentos de medición es esencial dentro del sistema de aseguramiento metrológico, ya que permite la identificación, trazabilidad y control de la operación de cada equipo utilizado en los procesos de extrusión, temple, matricería, estirado, preempaque y empaque de Ale Aluminios.

16.2.1. *Objetivo y principios de codificación*

El objetivo del sistema de codificación es garantizar la trazabilidad técnica y documental de los equipos de medición, de manera que sea posible:

- Identificar rápidamente cada instrumento dentro del proceso productivo.
- Asignar responsabilidades de mantenimiento y calibración.
- Evitar duplicidades o errores de registro.
- Facilitar la planificación de las actividades del plan de metrología.

16.2.2. *Estructura de codificación*

La empresa cuenta actualmente con un sistema establecido para la identificación y codificación de los instrumentos de medición, el cual se encuentra documentado en el Anexo “Procedimiento de codificación de equipos” administrado por el área de Calidad.

Este anexo constituye la base de trazabilidad del sistema metrológico, permitiendo relacionar cada instrumento con su proceso, ubicación y estado operativo.

Sin embargo, durante el desarrollo de este trabajo se evidenció la necesidad de actualizar y complementar la información existente, dado que algunos equipos recientemente incorporados no cuentan con codificación asignada, o presentan variaciones en la identificación utilizada por otras áreas operativas Tabla 18.

Instrumento	Código	Primera letra	Segunda letra	Tercera letra	Magnitud
Balanza precisión	BL-XXX	B	L		Masa
Bloque patrón	BP-XXX	B	P		Masa
Báscula camionera	BS-XXX	B	S		Masa
Conductímetro	CM-XXX	C	M		Conductividad
Dinamómetro con gancho	DMI-XXX	D	M	I	Masa
Durómetro	DM-XXX	D	M		Dureza
Espectrómetro	EM-XXX	E	M		Intensidad espectral
Flexómetro	FM-XXX	F	M		Longitud
Galgas lanas	GL-XXX	G	L		Espesor
Goniómetro	GM-XXX	G	M		Angulo
Galgas radios	GR-XXX	G	R		Radio de curvatura
Barras telescópicas	GT-XXX	G	T		Longitud
Micrómetros exteriores	MC-XXX	M	C		Longitud
Medidor de espesores	MES-XXX	M	E	S	Espesor
Maquina universal de ensayo	ME-XXX	M	E		Fuerza y alargamiento
Manómetro	MNM-XXX	M	N	M	Presión
PH metro	PH-XXX	P	H		Potencial hidrogeniónico
Masa patrón	PM-XXX	P	M		Masa
Pirómetro	PRM-XXX	P	R	M	Temperatura por radiación
Pie de rey	PR-XXX	P	R		Longitud
Presostato	PT-XXX	P	T		Presión
Termómetro de contacto	TC-XXX	T	C		Temperatura
Termómetro infrarrojo	TI-XXX	T	I		Temperatura

Tabla 18. Codificación de instrumentos (Ale Aluminios, Formato hoja de vida de instrumentos, 2025).

16.3. Mantenimiento y control metrológico

El mantenimiento y control metrológico constituyen la base operativa del plan de aseguramiento propuesto en esta tesis. Si bien la empresa Ale Aluminios dispone del Procedimiento de Metrología (PRO-005) y de registros asociados a calibración y verificación, dichos documentos no conforman un sistema planificado ni preventivo, ya que las intervenciones se ejecutan únicamente cuando se detectan desviaciones evidentes o durante auditorías externas.

16.3.1. *Estructura de la matriz de mantenimiento*

Durante la fase de diseño se elaboró la matriz maestra de mantenimiento y control metrológico, donde se establecieron las siguientes variables para cada instrumento:

- Tipo de actividad (calibración, verificación o mantenimiento).
- Descripción detallada de la tarea y subtareas asociadas.
- Norma de referencia o procedimiento aplicable.
- Frecuencia de ejecución
- Responsable (interno o subcontratado)
- Herramientas y patrones requeridos
- Criterio de aceptación y tipo de error asociado

Esta matriz permite la programación mensual del plan (Anexo 1 plan de mantenimiento pág. Actividades), así como el control de cumplimiento por parte del área de metrología.

16.3.2. *Tipo de actividad*

El presente Plan de Aseguramiento Metrológico busca integrar y fortalecer estos elementos existentes, convirtiéndolos en un sistema estructurado de mantenimiento metrológico preventivo y control continuo, que garantice la trazabilidad de las mediciones, la confiabilidad de los resultados y la disponibilidad operativa de los instrumentos en los procesos de extrusión, pintura y anodizado.

El programa propuesto contempla tres niveles de control:

- Calibración: realizada mediante patrones trazables a entidades acreditadas o a laboratorios externos con reconocimiento bajo la norma ISO/IEC 17025. En los casos en que ALE dispone de patrones internos, la calibración se ejecuta siguiendo el

procedimiento interno de metrología, garantizando trazabilidad y control de incertidumbre.

- **Verificación:** efectuada internamente por el personal de metrología, como control intermedio entre calibraciones para asegurar la estabilidad del instrumento. Estas actividades incluyen pruebas funcionales, comparaciones con patrones internos y verificaciones multipunto.
- **Mantenimiento:** ejecutado por el personal técnico interno, enfocado en limpieza, lubricación, inspección visual, ajustes mecánicos y reemplazo de componentes menores. Para los equipos complejos o automatizados, se incluyen intervenciones preventivas y correctivas de sistemas eléctricos, hidráulicos y de control.

Cada grupo cuenta con su propio conjunto de actividades de calibración, verificación y mantenimiento, alineadas con las normas técnicas aplicables.

16.3.3. *Descripción detallada de la tarea y sub tareas asociadas.*

Las actividades establecidas en la matriz de mantenimiento y control metrológico se describen de forma detallada para cada instrumento de medición, definiendo las tareas principales y las sub tareas que las componen.

Esta estructura permite asignar de forma estandarizada las intervenciones a cada instrumento según corresponda y garantizar que sea repetitiva para cada nuevo instrumento.

Cada descripción incluye el objetivo de la tarea, los pasos operativos requeridos, las observaciones técnicas y los puntos de control donde se debe registrar evidencia.

Elemento	Medida	Subcompon ente	Tipo	Actividad	Tarea
Durómetro	Dureza	Dial, penetrador, mesa de soporte, resortes	Mtto	Limpieza y ajuste mecánico	Limpiar con paño seco; revisar alineación del dial; lubricar guía del penetrador con aceite ISO VG10; verificar estado del resorte y reemplazar si está deformado
Durómetro	Dureza	Penetrador y dial	Verificar	Verificación funcional y de repetibilidad	Realizar tres mediciones sobre bloque patrón HRB y HRC certificados; registrar diferencias
Durómetro	Dureza	Penetrador y mesa	Calibrar	Calibración con bloques patrón certificados	Comparar con tres bloques patrón trazables (HB, HRB, HRC); ajustar y emitir certificado

Máquina universal de ensayo	Fuerza / Deformación	Celdas de carga, pistón hidráulico, sistema de control, mordazas	Mtto	Inspección general y lubricación	Revisar fugas hidráulicas; limpiar guías; verificar nivel y estado del aceite hidráulico; revisar conexiones eléctricas y cableado
Máquina universal de ensayo	Fuerza / Deformación	Celdas de carga	Verificar	Verificación de fuerza y desplazamiento	Aplicar carga con pesos patrón; verificar lectura digital $\pm 1\%$; comprobar carrera del pistón
Máquina universal de ensayo	Fuerza / Deformación	Sistema de medición	Calibrar	Calibrar celda de carga con patrones trazables	Usar pesos o celdas patrón de fuerza clase 1; registrar curva de calibración
Medidor de espesores	Espesor Recubrimiento	Sonda inductiva o magnética, pantalla digital	Mtto	Limpieza y revisión de sensor	Limpiar con paño suave y alcohol isopropílico; revisar cable de sonda y conectores

Medidor de espesores	Espesor	Sonda y pantalla	Verificar	Comparación con láminas patrón	Verificar mediciones en tres espesores distintos (25, 50, 100 μm) con estándares trazables
Medidor de espesores	Espesor	Sonda	Calibrar	Calibrar con estándares certificados	Ajustar linealidad y registrar certificado de calibración
Balanza de precisión	Masa	Celda de carga, plato, pantalla digital	Mtto	Limpieza y nivelación	Limpiar con brocha antiestática; verificar nivel con burbuja; revisar patas de nivelación
Balanza de precisión	Masa	Celda de carga	Verificar	Verificación con masas patrón	Verificar al menos 5 puntos (20 g, 50 g, 100 g, 200 g, 500 g) y registrar error relativo
Balanza de precisión	Masa	Celda de carga	Calibración	Calibración con masas patrón certificadas	Calibrar puntos críticos con masas

					trazables E2; emitir certificado
Báscula camionera	Masa	Celdas de carga, tablero de control, plataforma	Mantenimiento	Limpieza, revisión y ajuste mecánico	Limpiar zona de pesaje; revisar anclajes, conexiones eléctricas, terminales; lubricar bisagras
Báscula camionera	Masa	Celdas de carga	Verificar	Comparación con masas patrón o vehículo patrón	Verificar linealidad con pesos equivalentes a 10%, 50%, 100% de la carga máxima
Báscula camionera	Masa	Celdas de carga	Calibrar	Calibración con masas o vehículo patrón certificados	Ajuste de sensibilidad, linealidad y repetibilidad
Manómetro	Presión	Dial, tubo Bourdon, glicerina, conexión	Mantenimiento	Limpieza y revisión general	Limpiar con paño húmedo; revisar glicerina; verificar alineación del dial y conexión

Manómetro	Presión	Dial y tubo Bourdon	Verificación	Generación de presión con patrón	Aplicar 0%, 50% y 100% del rango nominal con bomba patrón; registrar desviaciones
Manómetro	Presión	Mecanismo interno	Calibración	Calibrar frente a patrón certificado	Comparar 5 puntos con manómetro patrón trazable; emitir certificado
Presostato	Presión / Activación	Membrana, resorte, contactos eléctricos	Mantenimiento	Limpieza y revisión mecánica	Limpiar terminales; revisar fugas; comprobar integridad de la membrana
Presostato	Presión / Activación	Membrana	Verificación	Verificación de punto de disparo	Aplicar presión creciente y decreciente
Presostato	Presión / Activación	contactos	Calibración	Calibrar frente a patrón de presión trazable	Ajustar punto de disparo; registrar certificado
Pie de rey	Longitud	Mandíbulas, regla, nonio,	Mantenimiento	Limpieza y lubricación	Limpiar con paño sin pelusa; aplicar

		tornillo de ajuste			aceite mineral ISO VG10 en guías y tornillo; verificar desplazamiento suave
Pie de rey	Longitud	Mandíbulas, nonio	Verificaci ón	Verificación dimensional	Usar bloque patrón clase 1 (25 mm, 50 mm, 100 mm); comprobar paralelismo y cierre cero
Pie de rey	Longitud	Escala, nonio	Calibraci ón	Calibrar instrumento	Comparar 5 puntos con bloque patrón trazable; registrar certificado de calibración
Micrómetro exterior	Longitud	Huso, tambor, yunque	Mantenim iento	Limpieza y lubricación	Limpiar con paño sin pelusa; aplicar aceite mineral ISO VG10 en rosca y huso

Micrómetro exterior	Longitud	Huso, tambor, yunque	Verificación	Verificación dimensional	Comprobar con bloque patrón 25 mm y 50 mm; verificar lectura cero
Micrómetro exterior	Longitud	Sistema de medición	Calibración	Calibrar instrumento	Comparar múltiples puntos con bloque patrón clase 0 o 1; generar certificado
Flexómetro	Longitud	Cinta graduada, gancho	Verificación	Comparación con regla patrón	Verificar 1 m, 2 m y 3 m; revisar gancho según tolerancia nominal
Flexómetro	Longitud	Cinta	Calibración	Comparación con patrón de acero	Verificar frente a regla patrón certificada; registrar desviación
Galgas de láminas	Espesor	Láminas calibradas	Verificación	Comparación con bloque patrón	Verificar espesor entre 0.05 mm y 1 mm con micrómetro calibrado
Galgas de láminas	Espesor	Láminas calibradas	Mantenimiento	Limpieza y protección	Limpiar con alcohol isopropílico.

Goniómetro	Ángulo	Escala graduada, brazo móvil	Verificación	Medición de ángulos patrón	Verificar ángulos 45°, 90° y 135° con patrón; revisar movimiento suave
Goniómetro	Ángulo	Escala y eje	Calibración	Comparar con ángulos patrón trazables	Comparar con bloques angulares certificados
Galgas de radios	Radio	Placas calibradas	Verificación	Comparación visual con radios patrón	Verificar cada hoja contra patrón visual o plantilla calibrada
Barras telescópicas	Longitud interna	Cuerpo extensible, puntas de contacto	Mantenimiento	Limpieza y lubricación	Desarmar, limpiar, lubricar resortes y puntas con aceite fino; verificar suavidad
Barras telescópicas	Longitud interna	Puntas de contacto	Verificación	Comparación con patrón de anillos calibrados	Verificar al menos tres diámetros con anillos patrón trazables
Durómetro	Dureza	Dial, penetrador.	Mantenimiento	Limpieza y ajuste mecánico	Limpiar con paño seco; revisar alineación del dial.

Durómetro	Dureza	Penetrador y dial	Verificación	Verificación funcional y repetibilidad	Realizar tres mediciones sobre bloque patrón HRB y HRC certificados; registrar diferencias
Durómetro	Dureza	Penetrador y mesa	Calibración	Calibración con bloques patrón certificados	Comparar con tres bloques patrón trazables (HB, HRB, HRC); ajustar y emitir certificado
Máquina universal de ensayo	Fuerza / Deformación	Celdas de carga, pistón, mordazas	Mantenimiento	Inspección general y lubricación	Revisar fugas hidráulicas; limpiar guías; verificar nivel y estado del aceite
Máquina universal de ensayo	Fuerza / Deformación	Celdas de carga	Verificación	Verificación de fuerza y desplazamiento	Aplicar carga con pesos patrón; verificar lectura digital $\pm 1\%$
Máquina universal de ensayo	Fuerza / Deformación	Sistema de medición	Calibración	Calibrar celda de carga con patrones trazables	Usar pesos o celdas patrón clase 1; registrar curva de calibración

Medidor de espesores	Espesor / Recubrimiento	Sonda inductiva o magnética, pantalla	Mantenimiento	Limpieza y revisión	Limpiar con paño suave y alcohol isopropílico; revisar conectores
Medidor de espesores	Espesor	Sonda y pantalla	Verificación	Comparación con láminas patrón	Verificar mediciones (25, 50, 100 μ m) con estándares trazables
Medidor de espesores	Espesor	Sonda	Calibración	Calibrar con estándares certificados	Ajustar linealidad; emitir certificado
Balanza de precisión	Masa	Celda de carga, plato, pantalla digital	Mantenimiento	Limpieza y nivelación	Limpiar con brocha antiestática; verificar nivel con burbuja
Balanza de precisión	Masa	Celda de carga	Verificación	Verificación con masas patrón	Verificar 20 g, 50 g, 100 g, 200 g, 500 g; registrar error
Balanza de precisión	Masa	Celda de carga	Calibración	Calibrar con masas patrón certificadas	Usar masas E2 trazables; emitir certificado

Báscula camionera	Masa	Celdas de carga, tablero, plataforma	Mantenim iento	Limpieza, revisión y ajuste	Limpiar zona de pesaje; revisar anclajes, conexiones y bisagras
Báscula camionera	Masa	Celdas de carga	Verificaci ón	Comparación con masas o vehículo patrón	50%, 100% de carga máxima
Báscula camionera	Masa	Celdas de carga	Calibraci ón	Calibrar con vehículo patrón certificado	Ajuste de sensibilidad, linealidad y repetibilidad
Manómetro	Presión	Dial, tubo Bourdon, glicerina	Mantenim iento	Limpieza y revisión general	Limpiar con paño húmedo; revisar glicerina; verificar alineación del dial
Manómetro	Presión	Dial y tubo Bourdon	Verificaci ón	Generación de presión con patrón	Aplicar 0%, 50%, 100% del rango nominal con bomba patrón
Manómetro	Presión	Mecanismo interno	Calibraci ón	Calibrar frente a patrón certificado	Comparar 5 puntos con manómetro patrón trazable

Presostato	Presión / Activación	Membrana, resorte, contactos	Mantenim iento	Limpieza y revisión	Limpiar terminales; revisar fugas; comprobar membrana
Presostato	Presión / Activación	Membrana	Verificaci ón	Verificación del punto de disparo	Aplicar presión creciente y decreciente; registrar punto de cierre/apertura
Presostato	Presión / Activación	Membrana y contactos	Calibraci ón	Calibrar frente a patrón de presión trazable	Ajustar punto de disparo; registrar certificado
Termómetro de contacto	Temperat ura	Bulbo, capilar, escala	Verificaci ón	Comparación con termómetro patrón	Verificar 0°C, 50°C, 100°C; registrar diferencias
Termómetro infrarrojo	Temperat ura	Sensor IR, lente, display	Verificaci ón	Comparar con patrón de cuerpo negro	Verificar tres puntos (50°C, 100°C, 150°C); registrar error
Termómetro infrarrojo	Temperat ura	Sensor IR	Calibraci ón	Calibrar frente a cuerpo negro certificado	Ajustar lectura y registrar certificado

Pirómetro	Temperatura	Óptica, sensor IR, display	Verificación	Comparar con horno patrón	Verificar tres puntos (400°C, 600°C, 800°C)
Pirómetro	Temperatura	Sensor óptico	Calibración	Calibrar frente a horno patrón certificado	Emitir certificado con trazabilidad
PH-metro	Potencial Hidrógeno	Electrodo, sensor, pantalla	Mantenimiento	Limpieza y calibración básica	Enjuagar con agua destilada; calibrar con soluciones buffer pH 4, 7 y 10
Conductímetro	Conductividad	Célula, sensor, pantalla	Verificación	Comprobar lectura con patrón KCl 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Verificar exactitud $\pm 1\%$
Conductímetro	Conductividad	Célula de medición	Calibración	Calibrar frente a patrón certificado	Usar solución trazable 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$; registrar certificado
Espectrómetro	Composición química	Fuente, óptica, detector	Mantenimiento	Limpieza y purga de gas	Revisar óptica, purgar argón, limpiar cámara de combustión

Espectrómetro	Composición química	Sistema óptico	Calibración	Calibrar con patrones certificados	Usar estándares de aleaciones 6063 y 6061; registrar curvas
Dinamómetro	Fuerza	Celdas de carga, gancho, display	Verificación	Comparar con pesos patrón	Verificar tres puntos (25%, 50%, 100%) del rango
Dinamómetro	Fuerza	Celda de carga	Calibración	Calibrar con pesos patrón certificados	Registrar certificado de calibración

Tabla 19. Detallada de las tareas y sub tareas asociadas (Elaboración propia, 2025).

16.3.4. **Frecuencias de mantenimiento y calibración**

Las frecuencias de mantenimiento y calibración se proponen de acuerdo con la criticidad del instrumento, el uso operacional y las recomendaciones del fabricante.

16.3.5. **Inventario de instrumentos de medición**

Una vez definida la estructura de mantenimiento y control metrológico, se consolidó el inventario maestro de instrumentos de medición, que constituye el punto de partida para la planificación y seguimiento del Plan de Metrología.

Este inventario agrupa todos los equipos utilizados en los procesos de extrusión, temple, matricería, estirado, preempaque y empaque, clasificándolos según magnitud controlada, tipo de instrumento, marca, modelo, rango, resolución, unidad de medida y ubicación operacional

Ilustración 3.

La información recopilada permitió asociar cada instrumento con su código de identificación, nivel de criticidad, responsable y frecuencia de intervención, integrando así el control metrológico con la gestión de mantenimiento preventivo.

FECHA DE ACTUALIZACIÓN:		LISTADO DE INVENTARIO DE INSTRUMENTOS O EQUIPOS DE MEDICION											
ITEM	MAGNITUD	CODIGO	INSTRUMENTO	TIPO O INDICACION	MARCA	SERIAL	MODELO	INTERVALO DE		RES	U/M	UBICACION	OBSERVACIONES
								MIN	MAX				
1	Longitud	FM-001	Flexómetro	Análogo	UDUKE	N.E	HT60086	0	7 500	1	mm	Empaque crudo	
2	Longitud	FM-002	Flexómetro	Análogo	Focci	N.E	N.E	0	7 500	1	mm	Pintura	
3	Longitud	FM-003	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	7 500	1	mm	Laboratorio	
4	Longitud	FM-004	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
5	Grados	ES-001	Escuadra	Análogo	Asimetro	N.E	634290	90	90	1	°	Prensa 5	
6	Grados	ES-002	Escuadra	Análogo	Asimetro	N.E	634290	90	90	1	°	Prensa 7	
7	Longitud	FM-005	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
8	Longitud	FM-006	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
9	Longitud	FM-007	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
10	Longitud	FM-008	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
11	Longitud	FM-009	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
12	Longitud	FM-010	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
13	Longitud	FM-011	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
14	Longitud	FM-012	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
15	Longitud	FM-013	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
16	Longitud	FM-014	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
17	Longitud	FM-15	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
18	Longitud	FM-016	Flexómetro	Análogo	Duke	HT60077	5019	0	5 000	1	mm	Laboratorio	
19	Longitud	FM-017	Flexómetro	Análogo	Focci	N.E	N.E	0	7 500	1	MM	Laboratorio	
20	Longitud	FM-018	Flexómetro	Análogo	UDUKE	N.E	N.E	0	5 000	1	mm	Cierra lingote	
21	Longitud	FM-019	Flexómetro	Análogo	stanley	N.E	Power luck	0	10 000	1	mm	Laboratorio	
22	Longitud	FM-020	Flexómetro	Análogo	stanley	N.E	N.E	0	5 000	1	mm	Prensa	
23	Longitud	FM-021	Flexómetro	Análogo	Lufkin	N.E	L516CME	0	5 000	1	mm	Laboratorio	
24	Longitud	FM-022	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	L525CME	0	7 500	1	mm	Mecanizado	
25	Longitud	FM-023	Flexómetro	Análogo	Komelon	N.E	PEN59E	0	5 000	1	mm	Prensa	
26	Longitud	FM-024	Flexómetro	Análogo	Tajima	N.E	HILOCK-25	0	7 500	1	mm	Laboratorio	
27	Longitud	FM-025	Flexómetro	Análogo	Lufkin	N.E	L525CME	0	8000	1	mm	Preempaque	
28	Longitud	FM-026	Flexómetro	Análogo	Focci	N.E	N.E	0	5 000	1	mm	Preempaque	
29	Espesor	GL-001	Galgas Lianas	Análogo	Mitutoyo	N.E	184-307S	0,03	0,5	N.A	mm	Prensa 5	
30	Espesor	GL-002	Galgas Lianas	Análogo	Mitutoyo	N.E	184-307S	0,03	0,5	N.A	mm	Prensa 7	
31	Espesor	GL-003	Galgas Lianas	Análogo	Mitutoyo	N.E	184-307S	0,03	0,5	N.A	mm	Laboratorio	
32	Espesor	GL-004	Galgas Lianas	Análogo	Mitutoyo	N.E	184-304S	0,05	1	N.A	mm	Laboratorio	
33	Espesor	GL-005	Galgas lianas	Análogo	Starrett	N.E	66MB	0,5	1	N.A	micras	Laboratorio	
34	Longitud	MC-001	Micrómetro exteriores	Análogo	Mitutoyo	67297539	103-137	0	25	0,01	mm	Laboratorio	
35	Longitud	MC-002	Micrómetro exteriores	Análogo	Mitutoyo	66304554	103-137	0	25	0,01	mm	Laboratorio	
36	Longitud	MC-003	Micrómetro exteriores	Análogo	Mitutoyo	26110171	103-137	0	25	0,01	mm	Laboratorio	
37	Longitud	MC-004	Micrómetro exteriores	Análogo	Mitutoyo	26110173	103-137	0	25	0,01	mm	Laboratorio	
38	Longitud	MC-005	Micrómetro exteriores	Análogo	Mitutoyo	2195483	103-104	0	25	0,01	mm	Laboratorio	
39	Longitud	MC-006	Micrómetro de exteriores	Análogo	Mitutoyo	N.E	N.E	0	25	0,01	mm	Matrices	
40	Longitud	MC-007	Micrómetro exteriores	Análogo	Mitutoyo	3266198	193-213	2	3	0,001	in	Laboratorio	
41	Longitud	MC-008	Micrómetro exteriores	Análogo	Mitutoyo	2076194	104-135	0	150	0,01	mm	Laboratorio	

Ilustración 3. Inventario de equipos de medición (Ale Aluminios, Listado maestro de equipos, 2025).⁶

⁶ Fuente: base de datos de inventario de equipos de Ale Aluminios

16.4. Plan general de metrología

El Plan General de Metrología constituye la integración operativa de los instrumentos, actividades y frecuencias definidas en el sistema de aseguramiento metrológico de Ale Aluminios.

A partir del inventario maestro y de la matriz de mantenimiento y control, se consolidó un calendario que asocia cada instrumento con su fecha de inicio, frecuencia de intervención y tipo de actividad (calibración, verificación o mantenimiento). Este calendario permite programar las actividades de forma diaria, semanal o mensual, según la naturaleza de la tarea y la criticidad del instrumento.

16.4.1. *Lineamientos para la programación del plan*

La programación de este plan se estructura de forma que sea aplicable y sostenible en el tiempo, para esto se definieron criterios como: cada actividad se programa teniendo en cuenta la disponibilidad del equipo, el tiempo de parada requerido y la capacidad del personal técnico asignado. Se evita la superposición de intervenciones que puedan afectar la producción o generar cuellos de botella en áreas críticas como temple o extrusión, la programación se equilibra con la cantidad de personal disponible en planta, la carga de trabajo semanal y el presupuesto mensual asignado para mantenimiento metrológico. Cuando la demanda supera la capacidad interna, las actividades son subcontratadas a laboratorios o proveedores acreditados y que cuando los equipos requieren calibración externa se programan de manera que cumplan con las frecuencias establecidas por las normas aplicables y las recomendaciones del fabricante, evitando desviaciones o vencimientos de certificados.

16.4.2. Ejecución y control

El planteamiento del calendario se utiliza como base para generar programas de trabajo semanales y mensuales, los cuales son impresos, asignados al personal responsable y controlados mediante reportes de cumplimiento.

Cualquier desviación en fechas o alcance se documenta en los registros de mantenimiento metrológico, asegurando la trazabilidad y continuidad del plan.

El resultado de esta planificación es un programa anual estructurado, que permite a la empresa anticiparse a las necesidades de calibración y mantenimiento, garantizar la disponibilidad de los equipos de medición y mantener la confiabilidad de los resultados en los procesos productivos.

16.5. Hojas de vida de equipos de medición

Cada instrumento cuenta con una hoja de vida metrológica, documento que consolida su información técnica, trazabilidad, historial de calibraciones, mantenimientos, reparaciones y estado actual Ilustración 4.

Estas hojas de vida funcionan como una base de datos histórica, que permite analizar el comportamiento de cada instrumento a lo largo del tiempo, identificar tendencias de desviación, establecer la confiabilidad del equipo y definir acciones preventivas o de sustitución cuando sea necesario. (Ale aluminios, Hoja de vida de equipos e instrumentos de medicion, 2025).

El registro puede mantenerse en formato físico o digital dentro del sistema de gestión de calidad de Ale Aluminios, asegurando su disponibilidad para auditorías, revisiones internas y análisis de desempeño.

Cada actualización debe contener la fecha de intervención, el responsable, el tipo de servicio realizado, los resultados obtenidos y el estado final del instrumento, garantizando así la trazabilidad total de la gestión metrológica.

De esta manera, las hojas de vida no solo constituyen evidencia documental de cumplimiento, sino también un instrumento de gestión técnica, que alimenta la toma de decisiones en mantenimiento, calidad y mejora continua.

		HOJA DE VIDA DE EQUIPOS O INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN					
INSTRUMENTO:		IMAGEN					
CODIGO:							
MARCA:							
MODELO:							
SERIAL:							
MAGNITUD:							
UNIDAD DE MEDIDA:							
INDICACION	ANALOGO:						
	DIGITAL:						
INTERVALO DE MEDICIÓN	MIN:						
	MAX:						
ERROR MAXIMO PERMITIDO		ÁREA:		PUESTA EN SERVICIO	D	M	A
REGISTRO DE CALIBRACIONES, MANTENIMIENTOS Y/O VERIFICACIONES							
FECHA	OBSERVACIONES	PRÓXIMA CALIBRACIÓN O VERIFICACIÓN	PROVEEDOR				

Ilustración 4. Hoja de vida instrumentos de medición (Ale alumínios, Formato hoja de vida de instrumentos, 2025).

16.6. Integración al sistema

El Plan de Metrología propuesto para Ale Aluminios se integra en el sistema de control de calidad de la planta, con el área de calidad como la principal responsable de coordinar la clasificación, calibración y mantenimiento de los instrumentos de medición. Esta propuesta busca establecer un enfoque claro y sistemático para asegurar que todos los equipos, desde los más sencillos como micrómetros y calibradores manuales hasta los más complejos de control de temperatura y presión, mantengan su precisión y fiabilidad en todo momento.

El área de calidad será la encargada de supervisar que las frecuencias de calibración y mantenimiento definidas en el Plan de Acción Metrológico se cumplan, garantizando que cada instrumento reciba la atención que necesita según su función en el proceso. Mientras que para los instrumentos manuales, el mantenimiento se realizará internamente, los equipos de mayor complejidad requerirán el apoyo de servicios externos especializados para asegurar su calibración adecuada.

La propuesta de implementación de este plan incluirá el registro detallado de cada actividad, con un sistema de gestión de calidad que permitirá hacer un seguimiento constante del estado de los instrumentos. De esta forma, se logrará mantener la trazabilidad y la confianza en las mediciones a lo largo del tiempo, lo que contribuirá a reducir la variabilidad y mejorar la calidad de los productos.

Asimismo, el seguimiento de este plan será posible a través de indicadores de desempeño, como el cumplimiento de las calibraciones programadas, que garantizarán que el plan de metrología se mantenga activo y funcional. Todo esto contribuirá a un proceso de producción más confiable, consistente y alineado con los estándares de calidad de la empresa.

16.7. Conclusión general del Plan de Metrología

El Plan de Metrología desarrollado en Ale Aluminios permite integrar la gestión metrológica al sistema operativo de la planta, fortaleciendo la confiabilidad y trazabilidad de las mediciones en los procesos de extrusión y sus subprocesos.

Con la clasificación, codificación e inventario de los instrumentos, junto con la definición de frecuencias y responsabilidades, se consolidó un modelo preventivo que reduce la variabilidad de las mediciones y asegura la disponibilidad de los equipos de control.

Su aplicación contribuye a mejorar la estabilidad del proceso, disminuir defectos asociados a errores de medición y optimizar el uso de los recursos técnicos y financieros.

La continuidad de su implementación permitirá sostener la mejora del desempeño operativo y la competitividad de la compañía en el largo plazo.

17. Procedimientos Operativos Estandarizados (POE'S).

Estructurar de manera adecuada los procedimientos operativos, constituye una estrategia esencial dentro del marco de mejora continua y gestión de la calidad, ya que el enfoque principal de los procedimientos es garantizar la estandarización de los procesos operativos que impactan en el 80% de los defectos detectados en los paretos de producto no conforme del proceso de calidad y devoluciones de producto del proceso comercial.

Estos procedimientos formalizan las condiciones operativas, responsabilidades del personal involucrado en los procesos y los controles requeridos para garantizar la estabilidad del proceso y la conformidad del producto con las especificaciones técnicas establecidas por el proceso de control de calidad para cada producto.

Al documentar los procesos críticos del proceso de producción, se obtienen beneficios directos para la compañía en cuanto a estandarización operativa, ya que cada actividad es descrita con parámetros técnicos, límites de control y responsables definidos, reduciendo la variabilidad asociada al criterio de calidad para cada operario, asegurando que los ciclos de extrusión, temple y empaque se realicen bajo las mismas condiciones de temperatura, presión, velocidad, enfriamiento y empaque. Adicional los formatos y registros asociados permiten un seguimiento sistemático de las variables críticas, impactando en el control y trazabilidad de los procesos, facilitando identificar a tiempo desviaciones y sus acciones correctivas inmediatas, con base en lo anterior la experiencia empírica de los operarios se fortalece con conocimiento organizacional formal, asegurando que las practicas optimas se mantengan ante cambios de personal o turnos de trabajo, lo cual reduce la dependencia de la experiencia individual y consolida la trasferencia de conocimiento técnico dentro de los procesos críticos de producción.

La creación de los procedimientos de extrusión, temple y empaque, mitigan los defectos de calidad, ya que proveen un método reproducible y documentado que asegura que todos los operarios trabajen bajo los mismos parámetros técnicos, facilitan la identificación y eliminación de causas de variabilidad en los procesos, integran los controles necesarios para mantener la conformidad del producto y generan fuentes de información confiables en la gestión de indicadores para el proceso de producción, dado lo anterior los procedimientos fortalecen la madurez del proceso de producción, reducen desperdicios y mejoran la gestión de calidad en producto no conforme.

La elaboración de Procedimientos Operativos Estándar (POE), se realiza siguiendo una metodología de control de información documentada de forma clara, práctica y aplicable en cada uno de los procesos críticos de producción, que incluye generalidades, autoridad y responsables por proceso.

17.1. Metodología de control de información documentada.

Con el fin de elaborar procedimientos robustos y confiables, se establece una metodología de control de información documentada para el proceso de Calidad de Aluminios ALE, en la cual se indica que, para la elaboración de procedimientos, codificación, emisión, revisión, aprobación, modificación, actualización, control de cambios y retiro de obsoletos, se deben cumplir las siguientes definiciones generales:

Almacenamiento: Poner o guardar en archivo de tal forma que se reduzca al mínimo el riesgo de deterioro, daño o pérdida, además registrar información en la memoria de un ordenador.

Aprobación: Aceptación de un documento que garantiza su aplicación desde el punto de vista del cumplimiento y coherencia con la Gestión de Calidad.

Backup: Copia de seguridad que permite guardar y almacenar los archivos en un soporte informático como un ordenador o nube y tiene el objetivo de permitir la recuperación de estos datos posterior a un fallo.

Cambios: Actividad que ante una necesidad de actualización, se realiza modificación a los documentos puede ser de forma o fondo.

Copia controlada: Es el documento copia del original vigente, de circulación interna. No puede reproducirse parcial ni totalmente sin autorización de Calidad, pueden emitirse copias controladas cuando los procesos lo requieran.

Copia no controlada: Es el documento con posibles características del original para lo cual no se prevé controles de cambio, se emite con fines informativos y no se actualiza.

Documento interno: Son los documentos elaborados por los procesos internos de la organización incluidos los procedimientos.

Documentos obsoletos: Es un documento que ha perdido su vigencia por contenido o fecha.

Elaboro: Cuando se reúne la información y se prepara el documento.

Formatos: Es un documento que permite registrar información en tiempo real y datos de un proceso específico.

Identificación: Los documentos pueden ser identificados con Nombre, Código, logo.

Información: Datos que poseen trazabilidad de los procesos registrados.

Plan: Documento que contempla en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, directrices y técnicas en tiempo y espacio.

Procedimiento: Forma detallada para llevar a cabo un proceso estandarizado y responsables del proceso.

Proceso: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.

Registro: Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas en los procesos.

Revisión: Cuando se verifica la adecuación de los documentos, sea por versión inicial o cuando sea necesario un cambio.

17.2. Autoridad y Responsabilidad.

En el proceso de documentación se establecen autoridades y responsabilidades, para los líderes de procesos, que incluyen asegurar que las versiones pertinentes de los documentos se encuentren disponibles, garantizar la conservación y recuperación de la información documentada, realizar la creación o modificación de la información documentada, hacer la revisión y aprobación de los documentos, informar la necesidad de modificar o actualizar documentación e identificar los cambios y el estado de revisión actual de los documentos.

17.3. Condiciones generales en el manejo correcto de la documentación.

En el proceso de documentación se establecen condiciones necesarias para dar un manejo correcto y trazable de los procesos que se manejan en la compañía, en los cuales están la protección de los registros físicos que estará dividida en Archivo de proceso (lugar de trabajo y responsable el líder de proceso), se mantendrán copias controladas y vigentes de la documentación de los procesos en la red interna (servidor), la consulta se realizará de forma periódica por cada dueño de proceso o a quien defina el líder del proceso, las solicitudes de elaboración, modificación o eliminación de los documentos de gestión de calidad son a través de correo electrónico, la asignación de código de cada documento está relacionada con el orden consecutivo del listado maestro de documentos de cada proceso, cada dueño de proceso debe

administrar el listado maestro de documentos y registros de su proceso o a quien le asigne y mantendrá actualizado en el servidor, el documento es actualizado en su versión y fecha de emisión, una vez aprobado, queda registrado por el líder de proceso (o a quien asigne el líder) en listado maestro de documentos.

Si un documento en el ejercicio de revisión conlleva la unificación de otros, será decisión del proceso teniendo como referente el objetivo del nuevo documento, considerarlo como nuevo o cambio de versión, los documentos que pertenecen a cada proceso no tienen definido un tiempo de revisión, pero serán revisados los documentos o instrucciones de trabajo y registros cuando se identifica un método más eficiente de realizarla la actividad definida en el documento, cuando hay cambio en las jefaturas de los procesos, la elaboración del documento nuevo o modificación que se va a realizar está a cargo del solicitante/líder de proceso o designado por el líder, los documentos se revisan y actualizan cada vez que se genere un cambio en el proceder, se evidencie repetición de fallas o cuando se modifique o incluya el sistema de control de algún registro asociado al documento, para definir el desarrollo de las actividades de los procedimientos pueden realizarse mediante diagrama de flujo del proceso o en caso de que se determine puede hacerlo en prosa.

Con el fin de preservar la integridad, información e identidad está prohibido compartir información clave y sensible de la compañía, imprimir documentos sin la previa autorización del líder de proceso, realizar cambios en la estructura documental de los documentos.

No es obligatorio la firma del documento por parte del responsable del proceso y para la revisión y aprobación y publicación, siempre y cuando cumpla con las disposiciones establecidas, los controles de cambio se visualizan también con el listado maestro de documentos y registros de cada proceso, cuando se realice un cambio en un documento y esto afecta a otro

proceso o trabajador diferente al que genera el cambio. El proceso responsable del cambio/líder debe socializar a los involucrados afectados del cambio del documento.

El tipo de letra en que debe estar el documento puede ser Arial o Tahoma, el tamaño de la letra es de 11 en documentos y para los registros de acuerdo con las características de este, cuando se guarda el documento en Word o Excel debe nombrarse en mayúscula así: Código, Nombre completo del documento (como está definido internamente) y abreviatura de versión con la definición de la versión que le aplica.

Ejemplo: P-PR-01 EXTRUSIÓN V.(x).

Todo documento debe estar paginados numéricamente en la parte inferior derecha de la hoja (Pie de página - Color de fuente – texto gris) con el número consecutivo que le corresponda a cada página, seguido de un símbolo / y continua con el número total de páginas que se genera en todo el documento.

17.4. Elaboración de documentos controlados.

Todas las personas de la compañía tienen la autoridad de iniciar o solicitar la creación, modificación de un documento, verificar que en el Sistema Documental se encuentran los documentos requeridos en su área y de asegurar que solamente están en uso los documentos vigentes

El personal que maneje copias físicas controladas de los documentos tiene la responsabilidad de su conservación en buen estado y de dar aviso a la gestión de calidad acerca de la existencia de documentos obsoletos o en mal estado en los puntos de uso.

Dado lo anterior se establecen parámetros en la creación de documentos de la compañía, con el fin de unificar conceptos y mantener la documentación controlada por proceso, estos

parámetros incluyen el encabezado, cuerpo y pie de página para todos los documentos controlados de la compañía.

17.4.1. *Encabezado de documentos controlados*

En el proceso de elaboración de documentos el encabezado debe estar en cada hoja y contiene:

- Logo tipo de Ale: Debe estar ubicado en la esquina superior izquierda del documento.
- Tipo de documento: Designación de acuerdo con el tipo de documento que se requiera realizar (en mayúscula sostenida).
- Título del documento: Nombre de identificación del documento. (en mayúscula sostenida)
- Código: Codificación del documento. Número de identificación del documento. Lado superior derecho (Definido de acuerdo con el documento y el proceso).
- Versión: Versión actual del documento. Lado derecho central del recuadro.
- Fecha de Emisión: Fecha desde la cual el documento entra en vigencia (a partir de la fecha de aprobación) y luego de una modificación o actualización será la fecha de la última aprobación. Lado derecho inferior del recuadro (dd/mm/aaaa).

	TIPO DE DOCUMENTO	CÓDIGO	X-XX-XX
	TÍTULO DEL DOCUMENTO	VERSION	XX
		FECHA DE EMISIÓN	dd/mm/aaaa

Ilustración 5. Encabezado de documentos controlados (Elaboracion propia, 2025).

17.4.2. Codificación de los documentos

El código se establece a partir de la clasificación del proceso al cual pertenece el documento, tipo de documento y consecutivo como se muestra a continuación y/o lo definido en el listado maestro de documentos:

Ejemplo:

P-GG-01		
P	-	GG
-		01
Tipo de Documento	Código del Proceso	Consecutivo
Carácter 1	Carácter 2	Carácter 3

Ilustración 6. Ejemplo de codificación (Elaboracion propia, 2025).

Se define el siguiente sistema de codificación para los documentos y designa el proceso al que pertenece el documento de acuerdo con el mapa de procesos:

SIGLA	PROCESOS
ESTRATÉGICOS	
GG	Gerencia General
MISIONALES	
GO	Gerencia de Operaciones
RH	Gerencia de Recursos Humanos
PR	Producción
APOYO	
CC	Control de Calidad
MR	Matrices
MT	Mantenimiento
CO	Compras
CD	CDI

Tabla 20. Siglas para cada proceso de la compañía (Elaboracion propia, 2025).

Cuando existan cambios en el mapa de procesos o cambios en los nombres de los procesos se realizará el respectivo cambio de nombre del proceso sea por modificación o creación, cambio de posición entre los diferentes niveles de proceso, Estratégicos, Misionales, Apoyo.

Se define el número Consecutivo del documento el cual debe comenzar con el 01 y la codificación va por proceso, entre los diferentes tipos de caracteres va un guion (-) que los separa.

Ejemplo: Procedimiento de gestión humana: P-RH-01

Para la actualización o modificación en la versión (Número de edición del documento), una vez aprobado el documento comenzará en la versión 01 e irá aumentando en uno cada vez que se efectúe una modificación en el mismo, en la Fecha de Emisión (día (dd) mes (mm) año (aaaa)) entre los caracteres de año, mes y día va un guion (-) que los separa, y para el número de páginas que conforman el documento, la numeración de las hojas del documento, se ubicará en la parte inferior derecha, en este espacio se coloca el número de la página seguido del número de páginas totales del documento (X de Y).

17.4.3. *Contenido de los documentos*

Se definen en el contenido ítems necesarios para identificar de manera general pasos críticos en cada proceso como son describir los objetivos con la intención del documento en términos del Qué y el para qué, especificar el alcance es decir con que actividad inicia el procedimiento y donde termina.

Describir las definiciones de las siglas o abreviaturas, dando la definición de términos desconocidos y/o técnicos propios del procedimiento que son necesarios para su ejecución y relacionar en orden alfabético lo términos o definiciones.

En el desarrollo de las actividades se debe iniciar con un solo verbo rector en infinitivo, la descripción de las actividades debe seguir un orden lógico, no iniciar la descripción de las actividades con el planteamiento de una decisión, sólo se deben incluir actividades que generen valor, no relacionar actividades como imprimir documento, contestar correo, etc., se pueden especificar en un cuadro o se puede describir en párrafos bien definidos, si para las actividades se decide por el cuadro especificado y una de esas actividades no tiene asociado un documento o registro no se deja la casilla de “Registros” vacía si no que se define como N.A.(No Aplica).

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	REGISTROS	RESPONSABLE

Ilustración 7. Desarrollo de actividades (Elaboración propia, 2025).

En los documentos asociados, relacionar los documentos que son utilizados en la ejecución de las actividades, y para el control de cambios del documento, registrar brevemente los cambios que se presenten en el documento como notificación en el cuerpo del correo donde se divulga al personal involucrado en los procesos descritos en este, los cambios realizados y relacionar en listado maestro de documentos y registros según la versión que se modifica y fecha de emisión.

En cada carpeta de los documentos del servidor debe crearse una carpeta de “Obsoleto” para incluir allí los documentos obsoletos de las versiones anteriores como parte del control de cambio y la historia trazable del documento.

En el elaborado/modificado – Revisado – Aprobado (3 columnas) Se debe identificar quien aprueba, revisa y elabora el documento con el siguiente recuadro, con nombre y apellido legible (Color de fuente – texto negro), para el cargo (Color de fuente – texto gris) Tamaño del texto-letra menor al nombre.

ELABORADO/MODIFICADO:	REVISADO:	APROBADO:
Nombre Cargo	Nombre Cargo	Nombre Cargo

Ilustración 8. Control de cambios (Elaboracion propia, 2025).

Para los anexos, se adjuntan al final de procedimiento, relacionando los documentos (ejemplo: graficas, tablas, cuadros, etc.) que pueden dar mayor entendimiento en el desarrollo del procedimiento.

En el control de Documentos Externos, cuando un líder de Proceso identifique la necesidad de apoyar su proceso con un Documento de Origen Externo para cumplir con los requisitos de la Gestión de Calidad, hará su adquisición y lo registrara en el Listado Maestro de Documentos Externo cómo documento externo controlado y en el control de Documentos Obsoletos, manejar en la carpeta del servidor de cada proceso, las carpetas creadas para los documentos inactivos u obsoletos, una vez la versión sea actualizada o eliminada, queda en servidor una copia inactiva digital del documento para trazabilidad, es responsabilidad de cada uno de los usuarios/líder de proceso o su asignado retirar los obsoletos de sitios de trabajo a fin de evitar uso involuntario de éste y se mantendrán copias controladas y vigentes de la documentación de los procesos, de acuerdo a lo actualizado en la carpeta del servidor.

18. Monitoreo y Validación

La consolidación de la mejora continua requiere no solo el desarrollo de herramientas y procedimientos, sino también la capacidad de medir, evaluar y sostener los resultados en el tiempo. Por ello, el presente capítulo desarrolla el sistema de indicadores de desempeño que permitirá monitorear la efectividad de las acciones en el marco del proyecto, particularmente el Plan de Metrología y los Procedimientos Operativos Estándar (POEs) formulados en las fases anteriores.

El diseño de los indicadores se fundamenta en la fase Controlar del ciclo DMAIC 83, bajo el principio de que *lo que no se mide, no se puede mejorar*. A través de estos indicadores se busca garantizar la estabilidad del proceso, evaluar el cumplimiento de las metas de calidad y productividad, y generar información confiable para la toma de decisiones a distintos niveles de la organización.

El sistema propuesto se estructura en dos niveles jerárquicos complementarios el primero que son los indicadores de primer nivel o gerenciales, los cuales están orientados al seguimiento estratégico del desempeño global de la planta, estos evalúan el impacto del proyecto en la productividad, los costos de no calidad, los rechazos y las devoluciones de cliente y por último los indicadores de segundo nivel u operativos, los cuales están destinados al control diario de los procesos y estos permiten analizar causas raíz, frecuencia de defectos, cumplimiento de calibraciones del plan de metrología y ejecución correcta de procedimientos.

Cada indicador incluye su fórmula de cálculo, fuente de información, frecuencia, meta y responsable de seguimiento, lo cual asegura su trazabilidad y alineación con los objetivos corporativos. Posteriormente, se presentan los criterios de establecimiento de metas y los

mecanismos de sostenibilidad que permitirán mantener el control de los procesos en el largo plazo.

De esta manera, el capítulo constituye el vínculo entre la metodología aplicada y la gestión práctica del desempeño, asegurando que la mejora obtenida en el proceso de extrusión se mantenga en el tiempo y se consolide como parte de la cultura organizacional de la empresa.

18.1. Fuentes de Datos

El registro de datos de las variables utilizadas para el desarrollo de los indicadores que se presentan a continuación se encuentran contenidos en (Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad, 2025) documento que unifica los datos registrados en los informes de producción, reportes de calidad (PNC), reportes de devoluciones de clientes e información de costos registrados en el control de planta.

18.2. Indicadores de primer nivel (gerenciales)

En esta sección se presentan los indicadores de primer nivel o gerenciales Ilustración 9, los cuales permiten evaluar el impacto global de los resultados de la organización. Estos indicadores se alinean con los objetivos estratégicos de calidad, productividad y eficiencia económica, y se derivan directamente del análisis desarrollado en la fase *Controlar* del ciclo DMAIC.

18.2.1. *Fórmulas y estructura de medición*

Indicador	Fórmula	Unidad	Fuente de datos	Ciclo	Meta	A cargo de
% Recobrado	$\frac{Tn\ Netas}{Tn\ Brutas} \times 100$	%	Registro de extrusión	Mes	$\geq 75\%$	Planeación
% Devoluciones cliente	$\frac{Tn\ Devueltas}{Tn\ Despachadas} \times 100$	%	Registros de servicio al cliente	Mes	$\leq 3\%$	Ventas
Costo de no calidad	$Tn\ PNC \times (MOD + CIF) + Tn\ devoluciones \times (MOD + CIF + Transporte)$	MCOP	Reporte contable / Producción	Mes	↓ X definir	Gerencia General
Cumplimiento plan metrología	$\frac{Equipos\ calibrados}{Equipos\ programados} \times 100$	%	Registro metrológico	Mes	90%	Metrología

Tabla 21. Indicadores de primer nivel (Elaboración propia, 2025).

Glosario de variables de las fórmulas en indicadores de primer nivel:

Donde:

% recobrado: Tasa de aprovechamiento de material ingresado a producción y se determina de Toneladas de perfiles de aluminio que cumplen con los criterios de calidad sobre el total de las toneladas ingresadas al proceso.

- Tn netas: Toneladas de perfiles de aluminio que cumplen con los criterios de calidad.
- Tn brutas: toneladas de lingotes de aluminio ingresados al proceso de extrusión.

% devoluciones clientes: Tasa de producto no conforme devuelto por los clientes y se determina de Toneladas de material devuelto por el cliente sobre toneladas despachadas al cliente.

- Tn devoluciones: Toneladas devueltas por los clientes.

- Tn despachadas: Toneladas despachadas a los clientes.

Costo de no calidad: Costo del material rechazado por condiciones de calidad.

- Tn PNC: Toneladas de producto no conforme.
- MOD: Costo de Mano de obra directa.
- CIF: Costos indirectos de fabricación.
- Tn devoluciones: Toneladas devueltas por los clientes.
- Transporte: Costos logísticos relacionados con el despacho y devolución del material no conforme.

Cumplimiento del plan metrológico: Tasa de cumplimiento de la programación del plan metrológico.

- Equipos Calibrados por metrología.
- Equipos Programados por metrología.

Los indicadores de primer nivel permiten a la dirección realizar seguimiento a la competitividad de la compañía al mejorar el componente de calidad del OEE Ecuación 5 .

Se pueden clasificar como indicadores de eficiencia productiva (% Recobrado, % devoluciones y costo de no calidad) e indicadores de sostenibilidad como el cumplimiento plan de metrología.

$$OEE = \% \text{ Calidad} \times \% \text{ Rendimiento} \times \% \text{ de disponibilidad}$$

Ecuación 5. OEE (Overall Equipment Effectiveness)

18.3. Indicadores de segundo nivel (operativos o de seguimiento)

Los indicadores de segundo nivel Ilustración 10 se orientan al monitoreo diario y al control visual en planta. Permiten hacer seguimiento a los resultados durante todo el proceso y tomar las medidas necesarias para corregir las desviaciones identificadas.

18.3.1. *Fórmulas y estructura de medición*

Indicador	Fórmula o método	Unidad	Fuente	Frecuencia	A cargo de	Propósito
Pareto de rechazos internos	% acumulado por tipo de defecto	%	Reporte de calidad	Seguimiento diario	Calidad	Detectar defectos dominantes y tendencias
Pareto de devoluciones	% acumulado de devoluciones por tipo de defecto	%	Reporte de ventas	Seguimiento diario	Calidad	Evaluar impacto externo
Seguimiento a causas raíz	N° causas cerradas / N° causas abiertas	%	Comité de mejora	Mensual	Mejora continua	Controlar eficacia de acciones correctivas

Tabla 22. Indicadores de segundo nivel (Elaboracion propia, 2025).

Glosario de variables de las fórmulas en indicadores de segundo nivel:

Donde:

Pareto de rechazos internos: Indicador que agrupa los rechazos por tipo de defecto y los organiza de mayor a menor.

- % acumulado por tipo de defecto: Toneladas acumuladas por tipo de defecto.

Pareto de devoluciones: Indicador que agrupa las devoluciones por tipo de defecto y los organiza de mayor a menor.

- % acumulado de devoluciones por tipo de defecto: Toneladas de devolución clasificadas por tipo de defecto.

Seguimiento a causas raíz: Tasa de efectividad en cierre de causas raíz de defectos y devoluciones identificados.

- N° causas cerradas: Numero de causas raíz corregidas en el mes
- N° causas abiertas: Numero de causas raíz abiertas durante el mes

18.4. Establecimiento de metas móviles y límites de control

El establecimiento de metas para los indicadores se realizó mediante un enfoque estadístico y dinámico, orientado de tal forma que los objetivos reflejen la realidad del proceso y evolucionen conforme a su grado de madurez y control. Así mismo los límites de control

18.4.1. *Metas móviles.*

Para cada indicador se utilizó un periodo móvil de doce (12) meses consecutivos, tomando como referencia el mes en curso o el mes que se va a monitorear. Esto implica que la meta no es estática, sino que se actualiza de manera continua en función del ingreso de nuevos datos. De esta forma, las metas se ajustan automáticamente con el comportamiento reciente del proceso, reflejando tanto sus mejoras como posibles desmejoras.

El método de cálculo se basa en la determinación de la media aritmética (μ) y la desviación estándar (σ) del indicador, estableciendo los límites de referencia según la estabilidad del proceso:

$$\text{Meta} = \bar{X}_t + / - \sigma_t$$

Ecuación 6. Meta proceso estable

Donde:

- \bar{X}_t = Media móvil
- σ_t = Desviación estándar móvil

$$\bar{X}_t = \frac{1}{12} \sum_{i=t-11}^t X_i$$

Ecuación 7. Media móvil.

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=t-11}^t (X_i - \bar{X}_t)^2}$$

Ecuación 8. Desviación estándar móvil.

lo que representa el rango de variabilidad natural y aceptable del proceso.

En caso de que un indicador desmejore (por ejemplo, aumente su desviación estándar o se aleje de la media), la meta se mantiene constante hasta recuperar la estabilidad. Por el contrario, cada acción de mejora que logre disminuir la desviación estándar o desplazar la media hacia el desempeño deseado se interpreta como un avance en la mejora continua y da lugar al reajuste automático de la meta.

Este método de metas móviles permite que cada indicador funcione como un termómetro del control estadístico y, simultáneamente, como un vehículo de mejora continua. Así, la gestión de desempeño no se limita al cumplimiento de objetivos fijos, sino que promueve la evolución constante de los procesos hacia niveles superiores de calidad y eficiencia.

18.4.2. *Límites de control.*

La gestión efectiva de un sistema de indicadores requiere no solo establecer metas, sino también definir límites de control permitan identificar cuándo un proceso se encuentra fuera de su comportamiento normal. Estos límites actúan como fronteras de variabilidad aceptable, dentro de las cuales se considera que el proceso opera bajo condiciones estables y controladas.

Cuando un valor actual del indicador supera el límite superior o inferior, se interpreta como una señal de pérdida de estabilidad o una mejora extraordinaria que requiere verificación. En ambos casos, el objetivo es activar mecanismos de revisión, validar las causas y, si corresponde, ajustar los procedimientos o estandarizar la mejora.

- $LCS_t = \bar{X}_t + (2 \times \sigma_t)$

Ecuación 9. Límite de control superior.

- $LCI_t = LC\bar{X}_t - (2 \times \sigma_t)$

Ecuación 10. Límite de control inferior.

18.5. Tablero de control

El seguimiento continuo de los indicadores requiere herramientas visuales que faciliten la interpretación de los resultados, la identificación de tendencias y la toma de decisiones en tiempo real. Para este fin, se plantea la implementación de tableros de control o dashboards, diseñados bajo los principios de la gestión visual y la filosofía de mejora continua, para esto se tomaron los datos internos de la compañía y se interpretaron de manera cuantitativa, con el fin de ejemplificar los resultados si se implementara este proyecto más adelante.

Fecha	Tn Bruto	RT	RNT	PNC	PQR	TT DEF	Tn Neto	% RT	% RNT	% PNC	% PQR	% TT DEF	% Tn Neta	RT (MCOP)	RNT (MCOP)	PNC (MCOP)	PQR (MCOP)	TT DEF (MCOP)	Meta calidad	Meta rechazo
2024	11.111,0	2.222,0	22,0	555,0	444,0	555,0	666,0	20,0%	0,2%	5,0%	4,0%	5,0%	6,0%	1.906,4	1.363,7	1.092,3	120,7	4.483,1	75,0%	25,0%
2025	1.404,0	242,0	90,0	255,0	18,0	605,0	511,6	17,2%	6,4%	18,2%	1,3%	43,1%	36,4%	1.839,0	694,0	1.478,8	106,0	4.117,8	75,0%	25,0%
ene-25	234,0	33,0	12,0	45,0	2,0	92,0	92,4	14,1%	5,1%	19,2%	0,9%	39,3%	39,5%	155,7	56,6	363,4	16,6	592,3	75,0%	25,0%
feb-25	234,0	33,0	13,0	44,0	3,0	93,0	86,3	14,1%	5,6%	18,8%	1,3%	39,7%	36,9%	155,7	61,3	355,3	25,0	597,3	75,0%	25,0%
mar-25	234,0	44,0	14,0	43,0	4,0	105,0	110,2	18,8%	6,0%	18,4%	1,7%	44,9%	47,1%	207,6	66,1	347,2	33,3	654,1	75,0%	25,0%
abr-25	234,0	55,0	15,0	42,0	2,0	114,0	90,1	23,5%	6,4%	17,9%	0,9%	48,7%	38,5%	550,0	150,0	141,0	6,9	847,9	75,0%	25,0%
may-25	234,0	44,0	19,0	41,0	3,0	107,0	97,0	18,8%	8,1%	17,5%	1,3%	45,7%	41,5%	440,0	190,0	137,6	10,4	778,0	75,0%	25,0%
jun-25	234,0	33,0	17,0	40,0	4,0	94,0	35,5	14,1%	7,3%	17,1%	1,7%	40,2%	15,2%	330,0	170,0	134,3	13,8	648,1	75,0%	25,0%

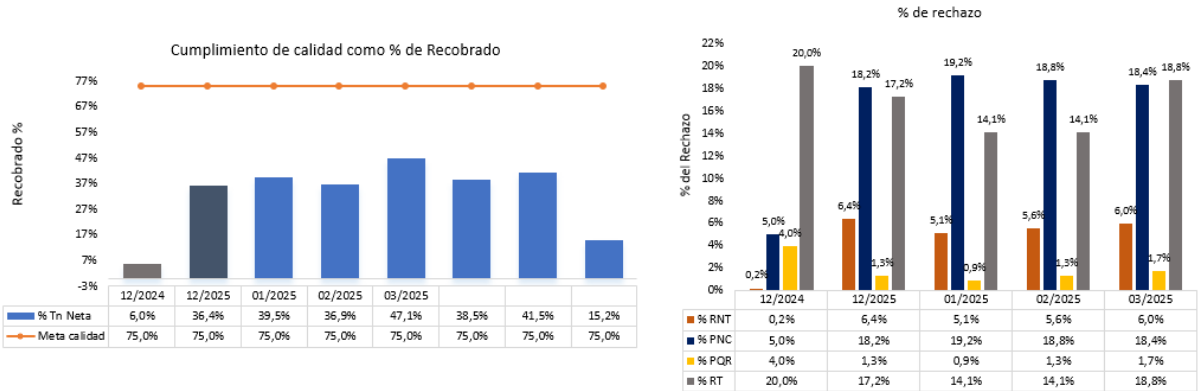
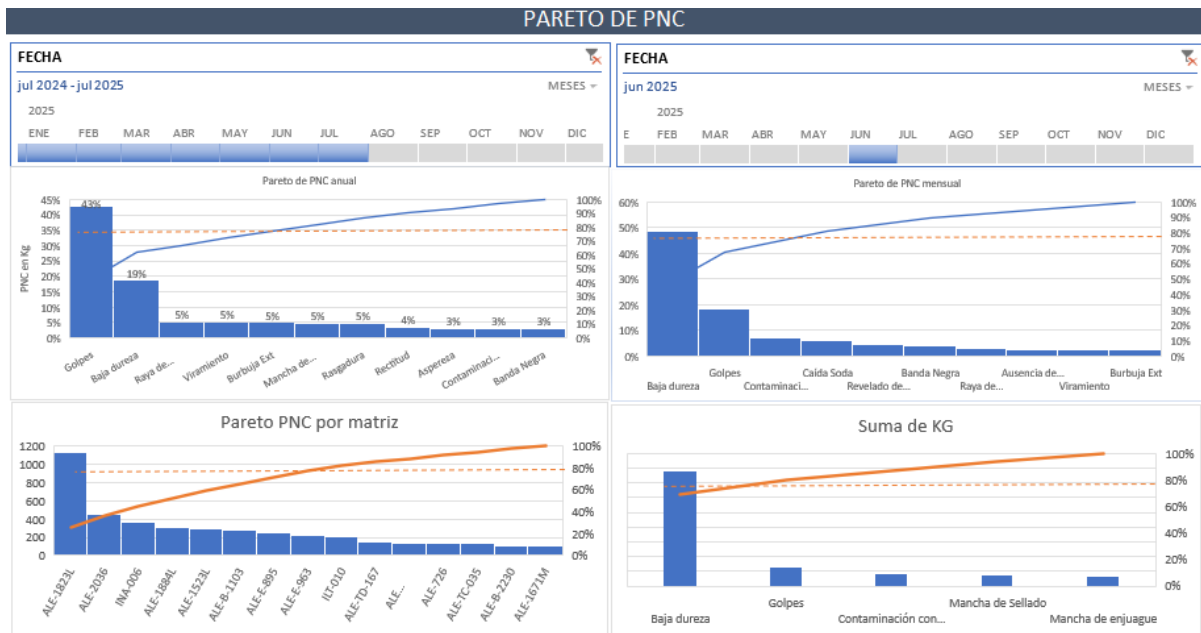


Ilustración 9. Indicadores de primer nivel (Elaboracion propia, 2025)⁷.

⁷ Por cumplimiento con los lineamientos de confidencialidad de la compañía, los datos aquí presentados son representativos y no coinciden con la realidad de la empresa.

El tablero de control propuesto Ilustración 9, permite el seguimiento y la evaluación continua del proceso de extrusión, integrando indicadores de producción, calidad y rechazo que facilitan la toma de decisiones. Su estructura combina registros operativos, porcentajes de desempeño y gráficos comparativos que muestran la evolución del comportamiento frente a las metas establecidas.



8

Ilustración 10. Indicadores de segundo nivel (Elaboración propia).

Los indicadores de segundo nivel Ilustración 10 complementan el tablero principal mediante diagramas de Pareto que priorizan las causas más críticas de los defectos en el proceso de extrusión, lo que permite un análisis en tiempo real de las causas y la focalización de las acciones de mejora. Estos tableros se construyen a partir de la frecuencia y el impacto de los

⁸ Por cumplimiento con los lineamientos de confidencialidad de la compañía, los datos aquí presentados son representativos y no coinciden con la realidad de la empresa

defectos registrados, aplicando el principio Pareto para identificar los factores con mayor influencia sobre la calidad.

En conjunto, los indicadores de primer y segundo nivel constituyen una herramienta que permite monitorear el desempeño del proceso de manera integral. Su aplicación promueve al desarrollo de una cultura de gestión visual orientada a la calidad, favoreciendo la detección temprana de desviaciones y asegurando la sostenibilidad y la mejora continua de los resultados obtenidos.

19. Modelo de ejecución para la implementación de la propuesta.

Este modelo de ejecución plantea la implementación de manera estructurada dentro de la compañía. El enfoque adoptado permite traducir los lineamientos técnicos definidos en acciones concretas, asignando responsabilidades, plazos de ejecución e indicadores de seguimiento.

La implementación se estructura como un proceso progresivo, liderado desde el área de calidad y articulado con las áreas operativas y de mantenimiento, evitando la creación de estructuras adicionales y aprovechando los recursos existentes de la compañía.

Asimismo, el modelo establece mecanismos de seguimiento que facilitan la toma de decisiones apoyadas en datos, permitiendo evaluar el impacto de la propuesta sobre la identificación y reducción de defectos, lo cual conlleva a la mitigación de reclamos de clientes y la mejora de la eficiencia operativa de la planta.

19.1. Enfoque de implementación

La ejecución de la propuesta se organiza en tres frentes operativos, que se alinean con la propuesta del proyecto, los cuales serán coordinados desde el área de calidad, lo que permite una implementación ordenada, medible y sostenible.

- Estandarización operativa (POE).
- Confiabilidad de la medición (Metrología).
- Seguimiento y control (Indicadores).

19.2. Gobierno del proyecto y responsables

La propuesta se ejecuta bajo un esquema simple de gobierno interno, sin crear nuevas estructuras organizacionales.

- Promotor del proyecto: Gerencia.
- Responsabilidad: Proporcionar el direccionamiento estratégico y el respaldo necesario para la ejecución de la propuesta, asegurando la asignación oportuna de recursos, la priorización de las acciones definidas y la eliminación de barreras que puedan afectar su implementación.
- Líder del proyecto: Área de Calidad.
Responsabilidad: Coordinar, priorizar y hacer seguimiento a la ejecución.
- Ejecutores del proyecto: Supervisores de operación con apoyo de Mantenimiento.
- Responsabilidad: Aplicación y verificación del cumplimiento de los procedimientos operativos estandarizados en cada proceso, el control de los parámetros críticos, el registro y validación de la información para indicadores y activación de acciones correctivas.

Con lo anterior se establece las bases organizativas y de control necesarias para llevar a la práctica la propuesta de mejora.

19.3. Secuencia de ejecución.

La implementación se desarrolla en tres etapas secuenciales, permitiendo controlar riesgos y validar resultados antes de avanzar.

Etapa	Horizonte de tiempo	Actividades principales	Responsables
Etapa 1 Corto plazo	0 a 60 días	Priorización de procesos críticos según el análisis de Pareto de defectos. Definición y aprobación de los (POE) críticos. Identificación de los instrumentos de medición críticos para el proceso.	Área de Calidad. Supervisores de operación con Apoyo de Mantenimiento.
Etapa 2 Mediano plazo	61 a 90 días	Capacitación del personal en los POE aprobados. Puesta en marcha del plan de metrología. Activación de los indicadores operativos de seguimiento.	Área de Calidad. Supervisores de proceso. Mantenimiento (metrología y soporte técnico).
Etapa 3 Consolidación	91 a 120 días	Evaluación del cumplimiento de los POE en planta. Ajustes al plan de metrología con base en los resultados obtenidos. Análisis de la tendencia de defectos y devoluciones de clientes.	Área de Calidad. Gerencia (revisión y toma de decisiones).

Tabla 23. Etapas de implementación. (Elaboración propia, 2025)

19.4. Mecanismo de control y toma de decisiones.

El control de la ejecución se realiza mediante revisiones periódicas, integradas a la dinámica normal de la operación. Para esto se propone una frecuencia mensual, en el cual se complementa en el comité operativo de calidad las entradas y salidas para el control en piso de la ejecución a esta implementación.

- Entradas: indicadores de defectos, cumplimiento de POE y estado del plan de metrología.
- Salidas: acciones correctivas, ajustes de parámetros y priorización de nuevos frentes.

Este mecanismo asegura que la mejora no dependa de esfuerzos aislados, sino de decisiones basadas en datos, apoyados de un equipo interdisciplinario.

19.5. Seguimiento y Sostenibilidad de la propuesta

El seguimiento de la propuesta se estructura como un sistema integrado de control y comunicación, orientado a verificar su correcta ejecución y asegurar la sostenibilidad de los resultados en el tiempo, para garantizar la continuidad de los resultados, la siguiente propuesta se integra al sistema de gestión existente en la compañía.

Nivel de seguimiento	Frecuencia	Tipo de reunión	Participantes	Objetivo de la reunión	Entradas	Salidas de la reunión
Estratégico	Trimestral	Reunión de revisión gerencial	Gerencia. Área de Calidad	Evaluar el impacto global de la propuesta, validar resultados y asegurar la alineación con los objetivos estratégicos de la empresa.	Tendencias de defectos y devoluciones. Resultados consolidados de indicadores. Estado general del modelo de ejecución.	Decisiones estratégicas. Priorización de nuevos frentes de mejora. Lineamientos para la sostenibilidad del modelo.
Táctico	Mensual	Reunión de seguimiento de resultados	Área de Calidad. Supervisores de proceso. Mtto Gerencia.	Analizar resultados de los indicadores, evaluar avances frente a lo planificado y	Indicadores de calidad. Estado del plan de metrología. Cumplimiento de POE. Reporte de mantenimiento.	Definición de acciones correctivas y

				revisar el estado de las tareas.		preventivas. Ajustes al plan de trabajo. Asignación de recursos necesarios.
						Ajustes operativos inmediatos.
Operativo	Semanal	Reunión de seguimiento operativo	Supervisores de proceso. Área de Calidad	Verificar el avance de las actividades definidas, el cumplimiento de los POE y el control de los parámetros críticos del proceso.	Avance de actividades por etapa. Registros operativos. Desviaciones detectadas.	Acciones correctivas. Priorización de actividades de la semana siguiente.

Tabla 24. Niveles de Seguimiento. (Elaboración propia, 2025).

19.6. Comunicación de la información.

La información generada por los indicadores se comunica de manera estructurada y oportuna. Los resultados operativos se registran y consolidan por el área de calidad, quien los presenta a los equipos de proceso y a la gerencia mediante reportes y tableros de control.

Nivel de comunicación	Tipo de información	Frecuencia	Medio de comunicación	Interesados	Objetivo de la comunicación
Estratégico	Análisis de tendencias, resultados globales e impacto de la propuesta	Trimestral	Informe ejecutivo y reunión gerencial	Gerencia. Jefaturas	Tomar decisiones estratégicas y definir lineamientos para la continuidad de la propuesta.
Táctico	Resultados mensuales de indicadores y estado del plan de trabajo	Mensual	Reporte consolidado y reunión de seguimiento	Área de Calidad. Supervisores. Mto. Gerencia	Evaluar resultados, avances, tareas pendientes y necesidades de recursos.
Operativo y Táctico.	Avance semanal de actividades y desviaciones	Semanal	Correo electrónico y reuniones de seguimiento	Supervisores de proceso. Área de Calidad	Dar seguimiento al cumplimiento de actividades y coordinar acciones correctivas.
Operativo	Indicadores diarios de proceso y calidad	Diario	Registros en planta y comunicación directa	Supervisores de proceso. Área de Calidad	Asegurar el control diario del proceso y la detección temprana de desviaciones.

Tabla 25. Niveles de comunicación. (Elaboración propia, 2025)

20. Conclusiones y Recomendaciones

20.1. Conclusiones

Este proyecto de mejora, integra en un mismo modelo la metodología DMAIC, la estandarización documental, la gestión metrológica y los indicadores estadísticos de control, generados a partir de bases de datos reales y analizadas bajo herramientas que aportan a una estructura sólida para la toma de decisiones técnicas y estrategias para Aluminios Ale. Esta integración aporta beneficios de alto valor institucional como lo son la sostenibilidad operativa, el desarrollo de una cultura de conocimiento técnico el cual aumenta las competencias y sentido de pertenecía del personal, los resultados del proyecto aportan a Aluminios Ale, construcción de capacidades organizacionales, sustentadas en conocimientos, datos confiables y estandarización de procesos, los cuales son un referente institucional que demuestran que la integración entre personas, procesos y medición a una operación competitiva y sostenible en el tiempo.

El desarrollo de proyecto de mejora basado en la aplicación de la metodología DMAIC permitió abordar de manera estructurada el diagnóstico y la mejora del proceso de extrusión, temple y empaque, identificando con precisión los defectos críticos, sus causas raíz y las oportunidades reales de intervención dentro de los procesos críticos de la planta, los cuales generaron un conjunto de aprendizajes organizacionales que transformaron la forma en que se entiende, gestiona y mejora los procesos productivos de Aluminios Ale, Anteriormente las acciones correctivas solían ser reactivas y dependientes del criterio individual de los operarios, con este proyecto se comenzó actuar de forma preventiva, colaborativa y basada en los resultados de los indicadores.

Los análisis realizados evidenciaron que los defectos de mayor impacto, tanto en rechazo interno como en devoluciones de cliente, corresponden principalmente a problemas geométricos, baja dureza, golpes y rasgaduras, asociados a las categorías de Máquina y Método. Esto confirmó que la mayor parte de las causas raíz son controlables por la organización e hizo comprender que la variabilidad operativa y los defectos de calidad no están basados solo en datos técnicos, sino que son un fenómeno sistémico que requiere gestión del conocimiento, estandarización y disciplina operativa, lo que validó el enfoque del proyecto hacia la estandarización de los procesos productivos y el control metrológico.

Los Procedimientos Operativos Estándar (POEs) definidos en el proyecto de mejora contribuyen directamente a la reducción de la variabilidad operativa y al aseguramiento de la calidad en etapas críticas. Con esto Aluminios Ale aprendió a documentar y formalizar el conocimiento táctico acumulado de experiencia de los operarios de los procesos de producción, creando procedimientos reproducibles, trazables y de fácil transferencia, garantizando así la trazabilidad que se requiere para que la mejora continua sea sostenible y cuantificable. Su implementación garantiza una disciplina operativa, estandarización y transferencia de conocimiento entre los trabajadores.

El Plan de Metrología desarrollado garantiza la trazabilidad y confiabilidad de las mediciones críticas, estableciendo una estructura documentada para la identificación, calibración, verificación y mantenimiento de los equipos de medición. Se le dio importancia a la metrología como soporte técnico del control de calidad, lo cual aporta a la confiabilidad de las mediciones que contribuye a la confianza de los resultados y a la cultura de análisis de datos. Este plan fortalece la base técnica del sistema de calidad y reduce la variabilidad en los resultados del proceso productivo.

La integración del sistema de indicadores y tableros de control permite medir de forma continua la efectividad de las mejoras. El uso de medias y desviaciones estándar móviles y la definición de límites de control dinámicos convierten el sistema en un modelo de gestión adaptable, capaz de detectar desviaciones, validar avances y sostener la mejora en el tiempo.

El enfoque global del proyecto trasciende la resolución de problemas puntuales, transformándose en un modelo de gestión sostenible, donde la calidad se consolida como resultado de procesos controlados, mediciones confiables y decisiones basadas en datos.

Finalmente, el trabajo demuestra que la integración de herramientas estadísticas, metrológicas y de estandarización dentro de un marco metodológico estructurado (DMAIC) constituye una estrategia eficaz para fortalecer la competitividad industrial, reducir pérdidas y aumentar la satisfacción del cliente.

20.2. Recomendaciones

Se propone fortalecer los procesos operativos, de control de calidad y de metrología mediante la consolidación de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POEs), la implementación integral del Plan de Metrología y la mejora del sistema de indicadores de desempeño, se recomienda ampliar el enfoque de mejora continua hacia procesos complementarios como pintura, anodizado y logística, garantizando una gestión alineada con el modelo DMAIC.

Estas acciones permitirán incrementar la confiabilidad de los resultados, reducir defectos internos, mejorar la trazabilidad documental y disminuir las devoluciones de clientes.

Con el fin de Fortalecer los procesos operativos, se requiere una consolidación de los procedimientos operativos se proponen las siguientes acciones:

Actualizar, validar y aprobar los POEs en todas las áreas operativas, a cargo del jefe de control Calidad y Lideres de Producción.

Divulgar los POEs en todos los turnos mediante charlas breves y tableros visuales, a cargo de Lideres de Producción.

Establecer un sistema trimestral de revisión y actualización, a cargo del Jefe de control Calidad.

En la implementación integral del plan de metrología, se requieren las siguientes acciones:

Digitalizar el registro de calibraciones y verificaciones, a cargo del Jefe de control Calidad e Ingeniero de Mantenimiento.

Crear un calendario semestral de calibración, verificación y mantenimiento, a cargo del Jefe de control Calidad e Ingeniero de Mantenimiento.

Revisar mensualmente el cumplimiento del calendario, a cargo del Jefe de control Calidad.

Diseñar un programa anual de capacitación en manejo y conservación de equipos, a cargo del Gerente de Recursos Humanos y Jefe de control Calidad.

En busca de una gestión oportuna, toma importancia el fortalecimiento del sistema de indicadores y dashboard, para esto se requieren las siguientes acciones:

Integrar datos de Producción, Mantenimiento y Calidad en dashboards únicos, a cargo del Gerente de Operaciones.

Validar consistencia y confiabilidad de las fuentes de datos, a cargo del Gerente de Operaciones.

Analizar indicadores clave y tomar decisiones correctivas a cargo de Líderes de producción y gerencia de operaciones.

Identificar variables críticas y establecer controles, a cargo de Líderes de producción y gerencia de operaciones.

Dentro de las recomendaciones generales para dar continuidad a este proyecto, están que la metrología debe asumirse como un proceso transversal y no como una actividad aislada del control de calidad.

Es importante adoptar reuniones periódicas de revisión de desempeño, donde los resultados de los indicadores sean analizados conjuntamente por los líderes de las áreas de producción, mantenimiento y calidad. Esto fomentará la comunicación transversal y la toma de decisiones basadas en datos confiables y evidencia de los procesos.

Extender el enfoque de mejora continua a otros procesos complementarios (pintura, anodizado, logística), utilizando el modelo DMAIC como marco metodológico para el diagnóstico y control de variables críticas.

Finalmente, se recomienda mantener una evaluación anual del correcto funcionamiento del sistema implementado de metrología y de la actualización correcta con respecto a los procesos productivos de los POEs, analizando si sus contenidos se mantienen a través del tiempo en cuanto a cambios tecnológicos, incorporación de nuevos equipos o variaciones en los requisitos del cliente.

21. Referencias

- Extractive Industries Transparency Initiative. (2023). *Informe EITI Vigencia 2021*. Bogotá, Colombia. Obtenido de EITI: <https://eiti.org/sites/default/files/2023-09/INFORME%20EITI%20VIG%202021%20.pdf#:~:text=Extracci%C3%B3n%20de%20minerales%20metal%C3%ADferos%2084,162%20176%2C2%2090%2C8%200%2C2%200%2C4>
- (ASQ), A. S. (s.f.). *DMAIC: The Lean Six Sigma Improvement Cycle*. Obtenido de <https://asq.org/quality-resources/dmaic>
- (ASQ), American Society for Quality. (2023). *Total Quality Management (TQM)*. Obtenido de ASQ: <https://asq.org/quality-resources/total-quality-management>
- 2025 The London Metal Exchange - an HKEX Company. . (Agosto de 2025). *LME HKEX*. Obtenido de <https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous>
- 2025 The London Metal Exchange - an HKEX Company. (2025). *HKEX*. Obtenido de LME Aluminium: <https://www.lme.com/en/Metals/Non-ferrous/LME-Aluminium#Overview>
- AEC Aluminium extruders council. (2018). *Aluminum Extrusion manual*. 1000 N. Rand Road, Suite 214 Wauconda, Illinois 60084 USA.
- Ale aluminios, Formato de PNC. (2025). *Formato de registro de producto no conforme*.
- Ale aluminios, Formato hoja de vida de instrumentos. (2025). Palmira.
- Ale aluminios, Hoja de vida de equipos e instrumentos de medicion. (2025). Colombia.
- Ale aluminios, Listado maestro de equipos. (2025). Palmira.
- Ale aluminios, Unificado indicadores de calidad. (15 de Agosto de 2025). Palmira.

American Society for Quality. (2023). *Quality Resources: OEE and Six Sigma Metrics*. Obtenido de <https://asq.org/quality-resources>

ASTM International. (2012). *Standard Specification for Aluminum-Alloy Extruded Bars, Rods, Wire, Profiles and Tubes*. Obtenido de <https://store.astm.org/b0221-12.html>

Elaboracion propia. (2025). Brian cardona, Maryuri Aunda.

European Commission. (agosto de 2025). *Carbon Border Adjustment Mechanism*. Obtenido de Carbon Border Adjustment Mechanism: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

Hayes, A. (Abril de 2024). *What Is the London Metal Exchange (LME)? Definition and History*. Obtenido de Investopedia: https://www.investopedia.com/terms/l/londonmetalexchange.asp?utm_source=chatgpt.com

Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. Nueva York, EE. UU.: McGraw-Hill.

Informa colombia. (Septiembre de 2025). *Informa - directorio de empresas*. Obtenido de Informa colombia: https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/actividad/2432_FUNDICION-DE-METALES-NO-FERROSOS?

International Organization for Standardization (ISO). (2003). *ISO 10012:2003 – Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/26033.html>

Juran, J. M. (1999). *Juran's Quality Handbook (5th ed.)*. Nueva York, EE. UU.: McGraw-Hill.

Kotter, J. P. (1996). *Leading Change*. Boston, EE. UU.: Harvard Business School Press.

- Lean Enterprise Institute (LEI). (s.f.). *What Is Lean?* Obtenido de Lean Enterprise Institute:
<https://www.lean.org/explore-lean/what-is-lean/>
- Lewin, K. (1947). *Frontiers in Group Dynamics. Human Relations.*
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance.* Cambridge, MA, EE. UU.: Productivity Press.
- Oakland, J. S. (2014). *Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases (4.ª ed.).* Londres, Reino Unido: Routledge.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production.* Portland, EE. UU.: Productivity Press.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.* Obtenido de Naciones Unidas:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- ProColombia. (2023). *Boletín No. 16 – Novedades para exportadores a la UE.* Obtenido de
https://procolombia.co/system/files/documentos-rse/Boleti%C3%ACn%20No%2016%20-%20Novedades%20para%20exportadores%20a%20la%20UE%20-%20Octubre%202023.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Pyzdek, & Keller, P. (2018). *The Six Sigma Handbook (5th ed.).* New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Pyzdek, T. &. (2018). New York, USA: McGraw-Hill Education.
- William_Garcia_Gerente_Ale_aluminios. (2025). Entrevista y consentimiento. (M. Aunda, Entrevistador) Palmira.

XM. (septiembre de 2025). *Informe de XM sobre las variables del mercado de energía en agosto de 2025*. Obtenido de <https://www.xm.com.co/noticias/8184-informe-de-xm-sobre-las-variables-del-mercado-de-energia-en-agosto-de-2025?utm>