

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DENTRO DE UNA
EMPRESA DEDICADA A LA ELABORACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS
UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Industrial

AUTORA:

Daniela Alejandra Alvarez Miranda

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR:

Sebastián Rengifo Legua

ASESOR:

César Augusto Corrales Riveros


Lima, diciembre de 2025

Informe de Similitud

Yo, César Augusto Corrales Riveros, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado ANÁLISIS Y MEJORA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DENTRO DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA ELABORACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING, de los autores DANIELA ALEJANDRA ALVAREZ MIRANDA y SEBASTIÁN RENGIFO LEGUA, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 12 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 16/12/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 17 de diciembre de 2025

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Corrales Riveros, César Augusto</u>	
DNI:07218351	Firma: 
ORCID: 0000-0002-1508-8100	



RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de la investigación presente es el poder identificar oportunidades de mejora en el área productiva de una empresa manufacturera, ubicada en la región de Lima, que se dedica a la fabricación de baldosas cerámicas, para construcción y acabados. Estas tienen como principal materia prima la arcilla, además de materiales importados como esmaltes y pigmentos.

La razón detrás de la elección del sector “materiales de construcción” es debido a su significativo crecimiento reciente, con cifras de 20.7% en enero de 2024. Adicionalmente, se proyecta que el mercado de baldosas cerámicas continuará en crecimiento, siguiendo una tasa de 6.43% para los próximos 5 años. Debido a esto, consideramos crucial que la empresa esté preparada para enfrentar posibles crecimientos exponenciales en la demanda, como enfrentar la entrada de nuevos competidores en el sector.

La propuesta de mejora se basa en la implementación de herramientas de Lean Manufacturing y conceptos de Ingeniería Industrial. Con estas medidas, se busca abordar el problema central de la empresa: la incapacidad para satisfacer completamente la demanda del mercado, lo que resulta en rupturas de stock, a pesar de tener capacidad disponible para producir más. También se busca confrontar el exceso de merma. Para lograrlo, se considerarán conceptos como la reducción de desperdicios y la aplicación de las 5S.

Finalmente, mediante el análisis económico se puede concluir que la propuesta es viable, ya que la implementación de las herramientas brindará un VAN de S/. 29,118,340.86 y una TIR del 26.24%. Estos indicadores confirman que la inversión inicial no solo cubre los costos asociados, sino que también genera una ganancia significativa a lo largo de cinco años, posicionando al proyecto como una opción atractiva y rentable para la empresa.

ÍNDICE GENERAL

Índice de Ilustraciones	iv
Índice de Tablas	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	2
1.1 Proceso Productivo	2
1.2 Línea de Producción.....	2
1.3 Mejora de procesos	2
1.4 Tipos de mejora de procesos	3
1.4.1 Mejora continua <i>Kaizen</i>	3
1.4.2 Mejora drástica o innovación	3
1.5 Herramientas de mejora de procesos	4
1.5.1 Curva de Pareto	4
1.5.2 Diagrama Causa-Efecto.....	5
1.5.3 Matriz de Probabilidad-Impacto	6
1.5.4 Los 5 ¿Por qué?.....	6
1.5.5 Método AHP Multicriterio	7
1.6 Lean Manufacturing	7
1.6.1 Principios de Lean Manufacturing.....	7
1.6.2 Desperdicios	8
1.7. Herramientas de Lean Manufacturing	8
1.7.1 Las 5S	9
1.7.2 SMED	10
1.7.3 TPM.....	11
1.7.4 Andon	13
1.7.5 Jidoka.....	13
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	14
2.1 Situación actual del sector construcción	14
2.2 Competencia en el sector	14
2.3 Descripción general de la empresa.....	14
2.3.1 Productos que elabora	15
2.3.2 Visión y misión	16
2.3.3 Modelo de negocio	16
2.3.4 Cadena de valor.....	18
2.3.5 Organización.....	19
2.4 Descripción del proceso productivo	21
2.5 Indicadores del proceso	23
CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA	25
3.1 Justificación del área y proceso a analizar	25
3.1.1 Selección del área de la empresa	25
3.1.2 Selección del proceso a analizar	26
3.2 Identificación de problemas	28

3.2.1 Lista de problemas	28
3.2.2 Priorización de Problemas	29
3.3 Identificación de causas críticas.....	30
3.3.1. Diagrama de Ishikawa.....	31
3.3.2. Matriz PI.....	34
3.4 Propuestas de contramedidas.....	41
CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA	43
4.1 Aplicación de la Mejora: TPM	43
4.1.1 Situación Actual	43
4.1.2 Proyecto de mejora	47
4.2 Aplicación de la Mejora: SMED.....	81
4.2.1 Situación Actual	81
4.2.2 Proyecto de mejora	81
4.3 Aplicación de la Mejora: 5S	86
4.3.1 Situación Actual	86
4.3.2 Proyecto de mejora	86
4.4 Aplicación de la Mejora: Jidoka	92
4.4.1 Situación Actual	92
4.4.2 Proyecto de mejora	94
4.5 Aplicación de la Mejora: Andon.....	102
4.5.1 Situación Actual	102
4.5.2 Proyecto de mejora	103
CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	106
5.1 Costos de implementación de las mejoras.....	106
5.1.1 Costos de implementación asociados al TPM	106
5.1.2 Costos de implementación asociados al SMED	112
5.1.3 Costos de implementación asociados a las 5S.....	113
5.1.4 Costos de implementación asociados al Jidoka	115
5.1.5 Costos de implementación asociados al Andon.....	117
5.2 Ahorros generados por las mejoras	119
5.2.1 Ahorros generados por la aplicación del TPM	121
5.2.2 Ahorros generados por la aplicación del SMED.....	124
5.2.3 Ahorros generados por la aplicación de las 5S	125
5.2.4 Ahorros generados por la aplicación del Jidoka	125
5.2.5 Ahorros generados por la aplicación del Andon.....	126
5.3 Flujo de caja del Proyecto	126
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
6.1 Conclusiones	129
6.2 Recomendaciones	131
BIBLIOGRAFÍA	133

Índice de Ilustraciones

Figura 1. Diferencias entre Kaizen e Innovación	4
Figura 2. Ejemplo del principio 80-20 de Pareto Aplicado	5
Figura 3. Ejemplo de Diagrama de Ishikawa	5
Figura 4. Modelo de Matriz Probabilidad – Impacto	6
Figura 5. Ejemplos de Herramientas de Lean	9
Figura 6. "Seleccionar" en las 5S	10
Figura 7. Formato 46x46	15
Figura 8. Mapa relacional del negocio o institución	17
Figura 9. Cadena de valor de la unidad de negocios Cerámicos	19
Figura 10. Organigrama de la empresa.....	21
Figura 11. Procesos en la elaboración de baldosas cerámicas.....	23
Figura 12. Diagrama de Pareto de la lista de problemas	30
Figura 13. Diagrama de Ishikawa de Alto tiempo de preparación de Campana	31
Figura 14. Diagrama de Ishikawa de Alto tiempo de parada de la línea.....	32
Figura 15. Diagrama de Ishikawa de Consumo Innecesario de Esmalte	33
Figura 16. Diagrama de Ishikawa de Alto Porcentaje de Baldosas Quebradas.....	33
Figura 17. Detalle de Minutos de parada, por área.....	46
Figura 18. Gráfico de Barra de tiempo de Parada por Maquina.....	47
Figura 19. Conjunto de gráficos de barra de Keywords de parada	49
Figura 20. Gráfico de barra de Keywords para maquina criticas	50
Figura 21. Gráfico de Keywords de Kerajet.....	51
Figura 22. Análisis de árbol de fallas de la Kerajet.....	51
Figura 23. Gráfico de Keywords de Rotocolor	54
Figura 24. Análisis de árbol de fallas de la Rotocolor	54
Figura 25. Gráfico de Keywords de Multiroll	57
Figura 26. Análisis de árbol de fallas de la Multiroll	57
Figura 27. Curva de Falla Potencial y Funcional	64
Figura 28. Estación de Limpieza Móvil	70
Figura 29. Prototipo de las etiquetas a implementar	73
Figura 30. Esbozo del Tablero Kanban a aplicar	74
Figura 31. Máquinas de impresión Kerajet	88
Figura 32. Sección de decorado.....	90
Figura 33. Comparación de Baldosa Correctamente colocada vs incorrectamente colocada.	95

Figura 34. Set de Rodillo REMATRACK TTX.....	96
Figura 35. Sensor de aire comprimido	103
Figura 36: Sensor de Nivel de Agua.....	103
Figura 37. Sensor de temperatura.....	104
Figura 38. Luces LED de advertencia industrial	104
Figura 39. Alarma acústica.....	105



Índice de Tablas

Tabla 1.Cajas por formato	15
Tabla 2.Paletas por formato.....	16
Tabla 3.Indicadores de Producción	23
Tabla 4.Criterios a utilizar	26
Tabla 5.Matriz de Comparaciones pareadas - Criterio	27
Tabla 6.Matriz de procesos - criterios	27
Tabla 7.Impacto Económico por Problema	30
Tabla 8. Causas de primer nivel	34
Tabla 9.Probabilidad x Impacto	35
Tabla 10.Análisis de causas críticas por Probabilidad x Impacto	35
Tabla 11. Matriz Probabilidad - Impacto	38
Tabla 12. Tabla de aplicación de Herramientas por Causa Raíz.....	42
Tabla 13. Especificación de Máquinas del proceso de Esmaltado y Decorado	44
Tabla 14. Detalle de tiempos de parada, por Equipo y Línea.....	46
Tabla 15.Pautas a incluir para implementación de Checklist de M.A - 1	66
Tabla 16.Pautas a incluir para implementación de Checklist de M.A - 2	67
Tabla 17.Lista de EPP's necesarios para la limpieza.....	68
Tabla 18. Tabla de División de máquinas para la Limpieza	71
Tabla 19. Análisis de Fiabilidad de Equipos para la línea de Decorado y Esmaltado	76
Tabla 20.Programa de mantenimiento de equipos según Prioridad	78
Tabla 21.Plan de mantenimiento para máquinas de alta prioridad.....	79
Tabla 23. Plan de mantenimiento para máquinas de baja prioridad.....	80
Tabla 22.Plan de mantenimiento para máquinas de moderada prioridad.....	80
Tabla 24.Toma de tiempos actual del Lavado de Campana	82
Tabla 25. Cuadro de tareas por operario para el método mejorado.....	83
Tabla 26.Toma de tiempo del método mejorado del Lavado de Campana	84
Tabla 27.Instructivo a implementar para Lavado de Campana	85
Tabla 28. Implementación de las 5S en la Campana.....	87
Tabla 29. 5S de máquinas de impresión Kerajet	89
Tabla 30. 5S en el decorado	91
Tabla 31. Causas más comunes tras paradas no programadas	93
Tabla 32.Perfil Técnico del Sensor LJ-X8000	95
Tabla 33.Perfil Técnico del Sensor ZX-LD100	97

Tabla 34.Espesores de Baldosa aceptados por Formato.....	98
Tabla 35.Perfil Técnico del Sensor LJ-G015K	99
Tabla 36.Perfil Técnico del Sensor SmartRay ECCO 95.....	101
Tabla 37. Perfil del Servo Actuador ROBO Cylinder.....	102
Tabla 38.Costos al detalle de la mejora enfocada en la Kerajet.....	108
Tabla 39.Costos al detalle de la mejora enfocada en la Rotocolor.....	109
Tabla 40.Costos al detalle de la mejora enfocada en la Multiroll	110
Tabla 41.Costos al detalle del Mantenimiento Autónomo	111
Tabla 42.Monto de inversión asociado al Mant. Planificado	112
Tabla 43.Monto de Inversión total de Implementación del SMED.....	113
Tabla 44. Costos al detalle de la Implementación del SMED	113
Tabla 45.Monto de Inversión asociado a la implementación de las 5S.....	114
Tabla 46.Detalles de Costos de las 5S para la Campana.....	114
Tabla 47.Detalles de Costos de las 5S para la Máquina de Impresión.....	114
Tabla 48.Detalles de Costos de las 5S para el Área de Decorado	115
Tabla 49.Monto de Inversión Asociado a la implementación del Jidoka.....	115
Tabla 50.Costos al detalle de implementar Jidoka para Kerajet.....	116
Tabla 51.Costos al detalle de implementar Jidoka para Rotocolor	116
Tabla 52.Costos al detalle de implementar Jidoka para Multiroll.....	117
Tabla 53.Monto de Inversión asociada a la implementación del Andon	118
Tabla 54. Costo al detalle de los Sensores Específicos para el Andon	118
Tabla 55.Costo al detalle de las Torres de Señalización Visual para el Andon	119
Tabla 56.Costo al detalle de las Alarmas Sonoras para el Andon.....	119
Tabla 57.Producción de m ² anual por formato	120
Tabla 58.Precio promedio por m ²	120
Tabla 59.Ingresos adicionales generados por ahorro de tiempo de la Mejora Enfocada	122
Tabla 60.Ingresos adicionales generados por ahorro de tiempo del Mant. Autónomo	123
Tabla 61.Ingresos adicionales generados por ahorro de tiempo del Mant. Planificado	124
Tabla 62.Ingresos adicionales generados por aplicación de TPM	124
Tabla 63.Ingresos adicionales generados por aplicación de SMED.....	124
Tabla 64.Ingresos adicionales generados por aplicación de 5S	125
Tabla 65.Ingresos adicionales generados por aplicación del Jidoka	126
Tabla 66.Ingresos adicionales generados por aplicación de Andon.....	126
Tabla 67. Conceptos utilizados para calcular el Costo de Oportunidad.....	127

Tabla 68. Flujo de caja para 5 años	128
Tabla 69. VAN y TIR del Proyecto.....	128



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas enfrentan un entorno altamente competitivo que exige una mejora continua en sus procesos para optimizar recursos y garantizar la calidad de sus productos. En este contexto, la metodología de *Lean Manufacturing* ha ganado relevancia al proporcionar herramientas que no solo aumentan la productividad y reducen costos, sino que también promueven un ambiente laboral más ordenado y eficiente. Estas metodologías son esenciales para adaptarse a las demandas del mercado y mantener una ventaja competitiva.

El propósito de esta investigación es analizar y mejorar los procesos en el área de producción de una empresa dedicada a la elaboración de baldosas cerámicas. A través de la implementación de herramientas Lean, se busca optimizar tiempos de parada, reducir defectos y mejorar la productividad general, asegurando un retorno positivo de la inversión.

En el primer capítulo se aborda el marco teórico, donde se explican los fundamentos de *Lean Manufacturing* y sus principales herramientas aplicadas en el ámbito industrial.

En el segundo capítulo se describe la empresa, su sector de operación, los recursos empleados y el proceso productivo.

El tercer capítulo se centra en la fase de diagnóstico, donde se identifica esmaltado y decorado como las secciones clave y las principales causas raíz de los problemas actuales mediante herramientas como el diagrama de Ishikawa, el análisis de Pareto y la matriz probabilidad-impacto.

En el cuarto capítulo se desarrolla la propuesta de implementación de herramientas *Lean*, tales como *SMED*, *TPM*, *Jidoka*, *Andon* y *5S*, evaluando su impacto en la mejora de los procesos productivos y en la calidad del producto final.

En el quinto capítulo se presenta el análisis económico del proyecto, considerando la inversión inicial, los costos asociados y el retorno de inversión proyectado, con el fin de determinar la viabilidad y sostenibilidad de las mejoras propuestas.

Finalmente, el último capítulo contiene las conclusiones derivadas del análisis y los resultados obtenidos, así como las recomendaciones para consolidar una cultura de mejora continua en la empresa.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

En este primer capítulo, se sentarán las bases de aquellas definiciones, herramientas y metodologías que estén directamente ligadas al tema, y que serán de utilidad en los capítulos posteriores de la investigación.

1.1 Proceso Productivo

De una forma sencilla, según las palabras de Quiroa (2024), un proceso productivo se refiere a aquellas actividades y secuencias de pasos que una empresa lleva a cabo para crear un producto u ofrecer un servicio. Esto incluye todas las etapas intermedias existentes entre la etapa de planificación inicial, hasta la entrega del producto terminado, tales como selección de materiales, la aplicación de tecnologías adecuadas y la intervención de la mano de obra.

1.2 Línea de Producción

Una línea de producción es un proceso productivo que divide la producción de un bien en pasos a completar dentro de una secuencia predefinida. Este método es el mayormente utilizado para la producción de bienes en masa (consumo masivo). Este método permite la reducción de costos, pues permite que operarios sin experiencia sean entrenados para realizar una labor específica. Esencialmente, cada estación puede ser vista como un servicio. El orden de cada estación en la línea de producción afectará la capacidad de cada operario de completar su trabajo, pues ciertas tareas pueden requerir menor o mayor trabajo a comparación de otras, así como ciertas operaciones requerir de los resultados de operaciones previas. La optimización de la producción se obtiene por un correcto “balance de línea”, de manera que cada operario pueda completar su trabajo en su propia estación. (Banton, 2009; Cummins, 2009)

1.3 Mejora de procesos

Según Bonilla, Diaz, Kleeherg y Noriega (2010), la mejora continua de procesos es una estrategia de la gestión empresarial que consiste en desarrollar mecanismos sistemáticos para mejorar el desempeño de los procesos, y como consecuencia, elevar el nivel de satisfacción de los clientes, internos o externos. Bonilla et al (2010) han definido que, para poder cuantificar la satisfacción del consumidor, esta será equivalente a la calidad percibida por este, dividida entre la expectativa que este tiene sobre el producto o servicio.

La explicación de esto es simple: la satisfacción del cliente será directamente proporcional a la calidad de servicio percibida por éste, y será directamente proporcional a las expectativas. Es decir, para obtener la mayor satisfacción, si las expectativas son bajas, pero la calidad percibida por el cliente es excelente, esto hará que la satisfacción del cliente aumente. Si la calidad y la expectativa están a la par, entonces la satisfacción del cliente se mantendrá. El problema radica cuando las expectativas empiezan a ser altas, pero la calidad percibida por el cliente empieza a disminuir, es decir, el cliente ya no percibe la misma calidad en el producto recibido, lo que causa que la satisfacción se reduzca.

1.4 Tipos de mejora de procesos

Bonilla et al. (2010) identifican dos tipos de mejora continua dentro de una empresa: *Kaizen* e innovación.

1.4.1 Mejora continua *Kaizen*

El método de mejora continua *Kaizen* puede ser explicado como “Un mecanismo penetrante de actividades continuas, donde las personas involucradas juegan un rol explícito, para identificar y asegurar impactos o mejoras que contribuyen a las metas organizacionales” (Suarez, 2007).

La palabra *Kaizen* viene de la unión de dos palabras en japonés: “Kai” que significa Cambio, y “Zen”, que significa bueno. Bajo este contexto se puede entender mejor la idea que brinda el concepto de *Kaizen*.

1.4.2 Mejora drástica o innovación

La innovación implica una mejora drástica en el *status quo* de la empresa, por lo que requiere de una inversión más elevada en tecnología. Este proceso suele estar dirigido por la alta dirección, y compromete a la dirección media en su desarrollo. Es un proceso que tiene un enfoque más sistémico, a comparación del *Kaizen*, y requiere de un mediano a largo plazo. Este proceso suele usar de técnicas más complejas, como lo pueden ser rediseños de procesos, o Seis Sigma (Bonilla et al, 2010).

La figura 1 nos otorga una visualización entre las diferencias de “*Kaizen*” e “Innovación”. La mejora *Kaizen* siendo pequeñas mejoras que se dan de manera progresiva, mientras que las mejoras de Innovación siendo mejoras más esporádicas, pero cuando se aplican, causan un impacto mucho mayor.



Figura 1. Diferencias entre Kaizen e Innovación

Fuente: Mejora Continua de los Procesos, Bonilla et al (2010)

1.5 Herramientas de mejora de procesos

A continuación, se procederá a presentar con diferentes herramientas de análisis y solución de problemas, que suelen ser comunes en el proceso de mejora de procesos.

1.5.1 Curva de Pareto

Gallach, Soler, Pérez y Pérez-Bernabéu (2020) definen la Curva de Pareto como una gráfica donde las clasificaciones de datos son ordenadas de manera descendente, de izquierda a derecha usando barras, no sin previamente haber reunido los datos para calificar las causas.

Este principio, también conocido como el principio de “80-20”, enfrenta la importancia de que tienen unos cuantos problemas pero que son de suma importancia, frente a los muchos problemas de importancia mínima o insignificante. Este principio dicta que “el 80% de las consecuencias son efecto del 20% de las causas”.

La importancia de la Curva de Pareto radica en que nos ayuda a separar los problemas relevantes, conocidos como “Pocos Vitales”, de aquellos no tan importantes, los “Muchos triviales”, tal como se observa en la figura 2. El fundamento del principio de Pareto es que muchas veces un seleccionado número de causas puede explicar un gran número de problemas. Poder identificar los “pocos vitales” es algo esencial cuando se trabaja en casos donde se tiene un gran conjunto de problemas, todos a primera vista igual de importantes. De esta manera, se

presentan los problemas de una forma bastante visual y fácil de entender, junto a los cuales se les debe brindar mayor importancia.

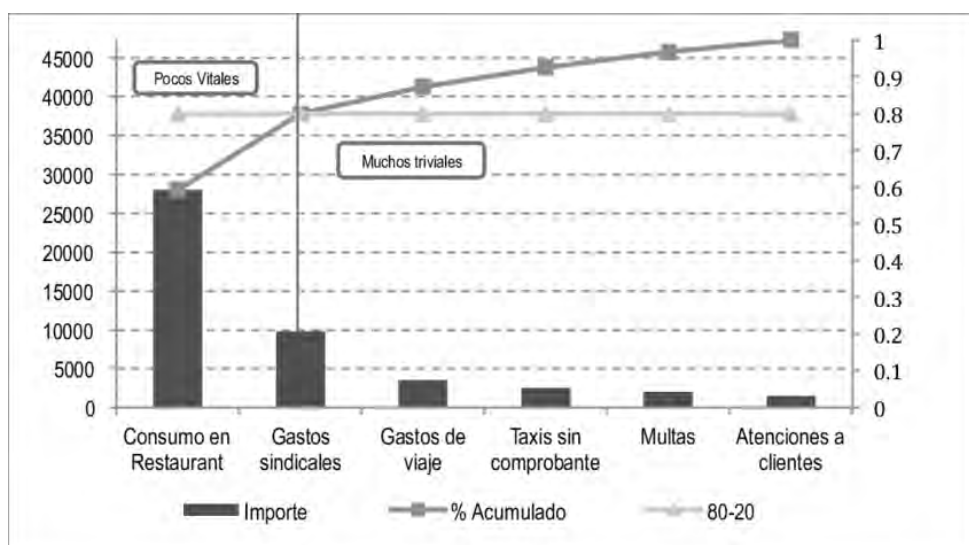


Figura 2. Ejemplo del principio 80-20 de Pareto Aplicado

Fuente: Hernández (2016)

1.5.2 Diagrama Causa-Efecto

De acuerdo con García y Sánchez (2001), el Diagrama Causa-Efecto, muestra de modo ordenado y completo todas las causas que ayudan a determinar un problema específico. Este permite especificar los motivos reales, permitiendo tomar con mayor facilidad la aparición de dificultades.

Este método, el cual podemos observar debajo en la figura 3, es también conocido como “Diagrama de Espina de Pez”, debido a la forma que adquiere la representación gráfica, con el problema siendo la “cabeza” del pez, y las causas saliendo como si del esqueleto del pez se tratara. Otro nombre que recibe es el de “Diagrama de Ishikawa”, debido a su creador, el químico japonés Kaoru Ishikawa, en el año 1943.

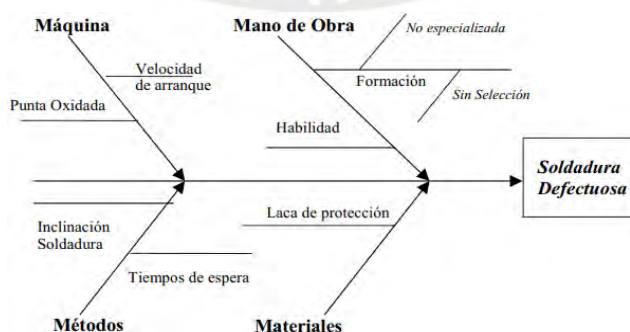


Figura 3. Ejemplo de Diagrama de Ishikawa

Fuente: García y Sánchez (2001)

1.5.3 Matriz de Probabilidad-Impacto

El riesgo operacional puede ser explicado como “la posibilidad de ocurrencia de pérdidas financieras por deficiencias o fallas en los procesos internos, la tecnología, las personas, o por eventos externos.” Para poder cuantificar estos riesgos, las empresas emplean una matriz que evalúa la ponderación a criterio de experto de la probabilidad de dicho suceso, el que tan viable es el que dicho suceso ocurra, con el impacto del suceso; en caso de que ocurra, cuáles serían las consecuencias potenciales (Palma, 2011).

Para este trabajo de investigación, se usará el modelo propuesto por LaConte, 2018 “*Strategic Risk Severity Matrix*”, presente en la figura 4, que permite evaluar el grado de vulnerabilidad dentro de un proceso de un negocio en una matriz de 25 cuadrantes, de 5 x 5, según la probabilidad y el impacto. Esta tiene 5 posibles calificaciones, según la puntuación asignada a la causa: “Controlado”, “Serio”, “Disruptivo”, “Severo” y “Crítico”.



Figura 4. Modelo de Matriz Probabilidad – Impacto

Fuente: LaConte Consulting (2018)

1.5.4 Los 5 ¿Por qué?

La técnica de los 5 ¿Por qué? se refiere a la técnica de preguntar 5 veces el por qué ha ocurrido dicho fallo, a fin de poder llegar a la causa raíz del problema. (Ovalles, Gisbert y Pérez; 2017). La ventaja de esta técnica es que no usa ningún formato o técnica especial requerida, y puede modificarse a los criterios del evaluador. Usualmente, la primera pregunta

es la más directa, y suele ser “¿Por qué ocurre este problema?”. De ahí, se identifica una causa, y se arma una pregunta tipo “Por qué” para responder dicha pregunta, un total de 5 veces.

1.5.5 Método AHP Multicriterio

El método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), es un método para abordar múltiples problemas complejos, propuesto por Thomas Saaty en 1980, el cual permite generar diversas escalas de prioridades para los problemas a ponderar, basándose en juicios de expertos manifestados en comparaciones pareadas, y siguiendo las reglas de una escala de preferencia (Nantes, 2019). Saaty (2008) propone los siguiente 4 pasos para ejecutar un análisis usando el modelo AHP:

1. Definir el problema y la respuesta que se desea obtener.
2. La estructuración del problema a través de la descomposición jerárquica en criterios y subcriterios, donde la alternativa se encontrará en el nivel más bajo.
3. Elaborar matrices de comparación, en las que, usando el juicio de experto, se compare uno por uno con la escala sugerida del método.
4. Sintetizar cada una de las matrices, y completar el modelo para obtener la prioridad global de cada alternativa.

1.6 Lean Manufacturing

Rajadell y Sánchez (2010) definen el Lean Manufacturing como la persecución de una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación del desperdicio, entendiendo como desperdicio todas aquellas acciones que no aportan valor al producto, y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar.

1.6.1 Principios de Lean Manufacturing

Vilana (2010) presenta los siguientes cinco principios de Lean Manufacturing para las empresas:

1. Es esencial producir únicamente lo que el cliente considera valioso, por lo tanto, es crucial identificar quién es el cliente, tanto de forma interna o externa, y entender su deseo en detalle. Esto implica comprender sus requerimientos, expectativas y requisitos, e integrarlos en los procesos de trabajo.
2. Toda tarea, función o actividad debe aportar valor. Es fundamental trazar el flujo de valor para eliminar la MUDA, que es la forma a la que se denomina a

aquellas actividades que no añaden valor al proceso, pero si consumen recursos, desde la entrada de la materia prima, pasando por la transformación, hasta la entrega del producto final al cliente. El objetivo es identificar todas aquellas actividades donde se detecte MUDA, para minimizarlas, modificarlas o eliminarlas del proceso de trabajo.

3. Es esencial lograr que el producto fluya de manera continua, agregando valor y reduciendo, en lo posible, la producción en lotes grandes, pues estos pueden traducirse en grandes pérdidas. Para alcanzar un flujo continuo del proceso, será necesario eliminar los obstáculos como los cuellos de botella, y suprimir los transportes innecesarios causados por *layouts* ineficientes.

4. Introducir un sistema de producción *Pull* es crucial. Esto significa producir según la demanda del cliente, asegurando una respuesta rápida a sus solicitudes, lo que ayuda a evitar o minimizar la sobreproducción y la acumulación de inventarios.

5. Aspirar a la perfección y gestionarla. El pensamiento Lean no solo se limita a eliminar defectos y errores en los procesos y productos, sino también entregar a tiempo productos que cumplan con los requisitos del cliente, a un precio justo y con la calidad especificada. La gestión de la perfección es una lucha constante para eliminar el MUDA, ya que reducir tiempos, costos, espacio, errores y esfuerzos innecesarios es una tarea continua que toda organización debe realizar.

1.6.2 Desperdicios

Los desperdicios en Lean Manufacturing, definidos por Gisbert (2015), son “aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios.” Es fácil identificar desperdicios, tales como sobreproducción, tiempo de espera, exceso de procesado, movimientos innecesarios, transporte, no conformidades de parte del cliente, falta de inventario, etc. Cabe destacar que la definición de "desperdicio" en *Lean* no es la misma que la definición del diccionario, que lo describe como “residuo de lo que no se puede o no es fácil aprovechar o se deja de utilizar por descuido.” (RAE, 2023) Sin embargo, ambas definiciones comparten la idea de algo que no añade valor y representa una pérdida de recursos.

1.7. Herramientas de Lean Manufacturing

Una herramienta de Lean Manufacturing es cualquier técnica o método utilizado para optimizar procesos de producción y reducir la MUDA en una organización, siguiendo los principios de Lean Manufacturing. Existen un gran número de herramientas de Lean

Manufacturing, tal como nos muestra a detalle la figura número 5. La ilustración, con forma de círculo, muestra que existen herramientas *Lean* tanto de primer, como de segundo orden, pero que siempre el concepto de “*Lean*” está en el *Core*, es decir, en el medio de la metodología, y se toma como concepto principal.



Figura 5. Ejemplos de Herramientas de Lean

Fuente: Vilana (2010)

1.7.1 Las 5S

Según lo establecido por Inga, Coyla y Montoya (2022), la metodología de las 5S surge en Japón después de la segunda guerra mundial, producto del boom en calidad suscitado en dicho país. Actualmente, esta metodología es considerada una de las prácticas que muestran mejores resultados en estudios de manufactura, especialmente por su contribución a la hora de mejorar procesos enfocados en calidad, productividad y seguridad en el entorno de trabajo.

La metodología se basa en 5 principios, basados en palabras en japonés: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* y *Shitsuke*; que en español podría traducirse como: Seleccionar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar y Mantener (Disciplinar).

- Seleccionar: Esta “S” consiste en renovar aquellos materiales, productos u objetos que no sean necesarios ni aporten valor al producto final. Para ello, es necesario identificar y clasificar los objetos presentes en el espacio de trabajo, separando aquellos que aportan valor al proceso con los que no, tal como se presenta en la figura número 6, esto con el fin de mejorar la calidad del espacio.



Figura 6. "Seleccionar" en las 5S

Fuente: Coyla y Montoya (2022)

- Ordenar: La siguiente S se da después de la clasificación de objetos en un espacio originalmente carente de orden. Después de separar lo necesario de lo no necesario, se debe acomodar de forma ordenada la ubicación de cada elemento. Se recomienda elegir la ubicación en base a la cercanía de donde estas serán requeridas. De igual manera, se recomienda rotular cada elemento, con el fin de que sean ubicados de forma más rápida.
- Limpiar: El objetivo de esta S es inculcar en los operarios la costumbre de evitar ensuciar, y en caso se llegara a ensuciar, entonces se debe limpiar de enseguida. Se busca crear la costumbre en los trabajadores de mantener su espacio de trabajo limpio y ordenado, con el fin de tener un mejor aprovechamiento del espacio, y un mejor entorno en general en la empresa.
- Estandarizar: La estandarización significa “realizar repeticiones y constancia” con el fin de mantener lo logrado en los 3 primeros pasos (Seleccionar, ordenar y limpiar). Se debe estandarizar a través de repeticiones con el fin de generar hábitos en los trabajadores.
- Mantener: Este punto tiene como objetivo el poder mantener las mejoras implementadas con los puntos anteriores, a través de la inculcación de disciplina en los operarios. La disciplina implica, entre otras cosas, respetar las nuevas normas establecidas con el fin de conservar lo logrado en las “S” anteriores.

1.7.2 SMED

De acuerdo con lo establecido por González (2007) el sistema SMED, “*Single Minute Exchange of Die*” es una metodología de cambios rápidos, que permite aumentar la

producción al disminuir los tiempos de fabricación, a través de la metodología de “cambios rápido de herramienta”. Estos tiempos pueden ser descompuestos en tiempo de elaboración, tiempo de espera entre procesos, y tiempo de transporte.

El tiempo de cambio es definido como “El tiempo desde la última parte buena de la primera orden hasta la primera parte buena de la nueva orden”, es decir, el tiempo muerto que hay entre la finalización de una primera orden y el inicio de una nueva. Se puede entender también como el tiempo parado de la máquina, o el tiempo en el que la máquina no es productiva. Se establecen los siguientes 5 pasos para la implementación de un proceso SMED:

1. Observar y comprender el proceso
2. Identificar y separar operaciones
3. Convertir las operaciones internas en externas
4. Perfeccionar las tareas internas y externas
5. Estandarizar el nuevo procedimiento

1.7.3 TPM

Feld (2001) presenta la importancia del TPM, *Total Productive Maintenance* o Mantenimiento Productivo Total, en la importancia que tiene el equipo. El equipamiento y maquinaria es integral para cualquier empresa manufacturera, y la fiabilidad del equipamiento en un entorno *Lean* es muestra de una implementación exitosa.

Cuando los inventarios de producto terminado son pocos, hay poco margen para los tiempos muertos o de planeamiento en un entorno *Lean*. Si una máquina ha de malograrse, la línea de producción entera se vendría abajo, razón por la cual un programa de TPM es fundamental. Pero el TPM puede ayudar también con otros imprevistos, como las variaciones imprevistas de velocidad o potencia en las máquinas, las cuales también tendrán un efecto negativo en la línea de producción.

Los pasos para la aplicación del TPM han sido definidos por el Instituto Japonés de Mantenimiento Productivo (JIPM), y descompone la aplicación del Mantenimiento Productivo Total en 8 pilares (Marín García y Martínez, 2013). Los pilares son:

1. Entrenamiento: Capacitación continua del personal, en habilidades específicas de mantenimiento y operación de equipos, como competencias de mejora continua.

2. **Mantenimiento Autónomo:** Se empodera a los operadores para que administren el cuidado básico de los equipos (Limpieza, lubricación, inspección y mantenimiento rutinario)
3. **Mejora Enfocada:** Implementación de pequeñas mejoras en los procesos, equipos y métodos de trabajo, con el objetivo de eliminar desperdicios y optimizar rendimiento.
4. **Mantenimiento Planificado:** Implementación de actividades de mantenimiento preventivas, planificadas y programadas previamente. Esta incluye una revisión más exhaustiva de la maquinaria, a cargo de un especialista.
5. **Establecer un programa de gestión inicial del equipo:** Asegurar que los equipos nuevos sean instalados correctamente, evitando problemas desde el día 1.
6. **Establecer un sistema de mantenimiento de calidad:** Incluir controles de calidad durante el mantenimiento y calibración, para asegurar que se cumplan los requisitos.
7. **Establecer un sistema de mejora de eficiencia para los departamentos administrativos:** Aplicar principios de mejora continua no solo en la producción, sino también en los procesos administrativos y de soporte.
8. **Establecer un sistema para el control de Seguridad, Salud y Medioambiente:** Integrar prácticas de seguridad industrial, salud ocupacional, y protección ambiental en todas las actividades.

Sin embargo, hay que tener mucho cuidado a la hora de diseñar e implementar sistemas de Mantenimiento Productivo Total, pues Bamber, Sharp & Hides (1999) han encontrado que la gran mayoría de organizaciones no son capaces de implementar un sistema TPM con éxito. Ante esto, Marín et al (2013) establecen las siguientes medidas para superar dichos obstáculos:

- Implementar un modelo efectivo de Mantenimiento Productivo Total (TPM) que conduzca al logro de los objetivos de desarrollo primordiales.
- Identificar los obstáculos y factores que facilitan la implementación del TPM.
- Comprender cómo las barreras afectan la evolución del modelo de implementación del TPM.

1.7.4 Andon

Andon es un sistema de gestión visual utilizado por los operarios y directivos de la fabricación ajustada para determinar y mostrar fácilmente el estado de las líneas de producción. El Andon puede ser definido como un tipo de “señal”, que brinda ayuda visual a la hora de resaltar un problema, lo que facilita el proceso de introducir contramedidas inmediatas, reduciendo los tiempos de respuesta, y evitando recurrencias en el futuro. Tiene su origen en un término japonés que significa “linterna de papel” con una traducción más exacta al inglés como “signo” o “señal” basada en la metodología Jidoka del Sistema de Producción Toyota (TPS). En la actualidad, los japoneses emplean los sistemas Andon como forma de comunicaciones, para comunicar de manera masiva a los operarios sobre el estado de la línea de producción o el proceso (Mohamed, Soufhwee, Azwan & Ito, 2019).

El sistema funciona tirando del cordón de Andon para señalar los problemas encontrados o la asistencia solicitada, cambiando el color de la luz de Andon y reflejando la actualización en el tablero de Andon. Existen diversos colores, pero los más comunes son verde, amarillo y rojo, al igual que un semáforo.

1.7.5 Jidoka

Según Quezada y Salamea (2016), la filosofía de manufactura esbelta incluye el concepto de *Jidoka*, que se define como: “Hacer que el equipo o la operación se detenga, siempre que surja una situación defectuosa o anormal”. Esta herramienta, utilizada en el sistema productivo de Toyota, actúa deteniendo de inmediato una línea o máquina ante cualquier problema. Esto permite identificar el error, prevenir la producción de piezas defectuosas y eliminar el tiempo que se requeriría para inspeccionar manualmente cada pieza defectuosa en sus respectivos procesos. Además, *Jidoka* busca que cada proceso incorpore un sistema de autocontrol de calidad, lo que facilita la corrección de anomalías, la identificación y eliminación de su causa raíz, y la prevención de su recurrencia a lo largo del tiempo.

Por su parte, Hernández y Vizán (2013) definen *Jidoka* como “automatización con un toque humano” o “autonomación”, término que no debe confundirse con la automatización. El propósito de *Jidoka* es evitar que productos con defectos en proceso avancen a etapas posteriores, promoviendo una producción con cero defectos y minimizando el riesgo de que un producto terminado defectuoso llegue al cliente.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

En este capítulo se presenta el contexto en el que se desarrolla la investigación, iniciando con un análisis de la industria cerámica en el Perú y de su competencia directa en el mercado. A continuación, se describe la empresa objeto de estudio, incluyendo sus principales productos y enfoque organizacional. Finalmente, se expone el proceso productivo y sus indicadores, con el fin de comprender las condiciones actuales de la organización.

2.1 Situación actual del sector construcción

En 2023, el sector de la construcción experimentó una disminución del 7.86% (INEI, 2023). No obstante, en enero de 2024, se registró un incremento del 20.7%, indicando una fase de recuperación y crecimiento. Un componente vital de este sector es la industria cerámica, que es fundamental para la economía peruana. En 2022, Perú exportó 110 millones en unidades cerámicas, ocupando el ranking N°36 más exportado del país (OEC, 2022). Además, según estimaciones de la empresa *Mordor Intelligence*, se anticipa que el mercado de baldosas cerámicas crecerá a un ritmo anual compuesto del 6.43% en los próximos cinco años.

2.2 Competencia en el sector

En el Perú, la industria cerámica está dirigida por tres grandes empresas, y en tercer lugar se encuentra la empresa de la que se realizará la investigación. Este orden puede deberse a su cantidad de años en el mercado ya que es la más reciente. Además, su competencia ofrece cerámicos, porcelanatos y revestimientos; mientras que la empresa en mención se limita a baldosas cerámicas. Todas ellas exportan a países como Chile, Ecuador, Estados Unidos, Colombia y Honduras; el Perú es el exportador número 38 de productos de cerámica en el mundo.

2.3 Descripción general de la empresa

La empresa investigada tiene tres grandes unidades de negocio, químicos, textil y cerámicos. Para su unidad de negocio cerámicos, el sector es el de Construcción con CIIU 2393 – Fabricación de otros productos de porcelana y de cerámica, y la actividad económica es la producción de baldosas cerámicas. Actualmente, esta empresa cuenta con más de 1000 colaboradores y tienen 3 plantas, 2 en Lima y 1 en Ecuador. La unidad de negocio en la que se centrará la investigación es la de cerámicos, cuya planta está ubicada en Lurín.

Esta es una empresa 100% peruana con más de 80 años desarrollando la industria del Perú. Se caracteriza por implementar la metodología de Mejora Continua y a fin de año premia las áreas con mejoras más innovadoras. Las principales funciones relacionadas a la empresa son diseñar y producir bienes en cada unidad de negocio para luego comercializarlo a otras empresas, y que ellos le den el alcance al cliente final.

2.3.1 Productos que elabora

La planta elabora baldosas cerámicas en cuatro tamaños o formatos diferentes: 60x60, 20x60, 30x60 y 46x46, que es el modelo que acompaña en la figura 7. Estas baldosas pueden utilizarse tanto para el piso como para las paredes, dependiendo del tráfico.



Figura 7.Formato 46x46

Fuente: La empresa

Las piezas son clasificadas según tono y calibre, luego son guardadas en cajas y finalmente en paletas que tienen la distribución indicada en la tabla 1.

Tabla 1.Cajas por formato

Formato	46x46	20x60	60x60	30x60
MT2/PZA	0.21	0.12	0.36	0.18
PZAS/CAJA	9	12	4	8
MT2/CAJA	1.9	1.44	1.44	1.44
CAJAS/PALETA	52	36	36	40

Elaboración propia

Por lo que el nivel de producción es, tal como indica la tabla 2:

Tabla 2. Paletas por formato

Formato	46x46	20x60	60x60	30x60
Paletas/Turno	40	65	63	57
Paletas/Día	120	195	189	171

Elaboración propia

Como puede observarse, el nivel de producción varía de acuerdo con el formato que se está corriendo en cada línea de producción.

2.3.2 Visión y misión

a) Misión

“Producimos y comercializamos textiles, químicos y acabados de construcción, mejorando continuamente nuestros procesos para ser considerados la mejor propuesta de valor del mercado, brindando soluciones con productos de reconocida calidad, con el fin de aportar al desarrollo de nuestra gente, nuestros clientes y la sociedad.”.

b) Visión

“Tener negocios diversificados con crecimiento sostenido que tengan presencia internacional y ser el preferido de nuestros clientes.”

c) Valores institucionales

- Responsabilidad: “Es el compromiso con que las personas realizan sus actividades, cuyo cumplimiento se da aún por encima de sus propios intereses”.
- Productividad: “Es hacer más con lo mismo o con menos recursos”
- Proactividad: “Es proponer o realizar acciones con iniciativa, autonomía y rapidez para mejorar o solucionar problemas”.
- Creatividad: “Es generar nuevas ideas o asociaciones entre ideas existentes para implementar soluciones”.

2.3.3 Modelo de negocio

Como se ha mencionado anteriormente, la empresa lo que hace es producir baldosas cerámicas para su posterior comercialización. Para ello necesita actores que se involucren en el proceso, los cuales son los siguientes:

- Proveedores: Encargados de la venta de productos necesarios para la producción. En este caso hay proveedores de materia prima como arcilla y esmaltes, y hay proveedores de maquinaria y repuestos para las líneas de producción.
- Clientes: En su mayoría empresas distribuidoras de productos de construcción.
- Equipo de producción de Cerámicos Gala: Encargado de la producción de las baldosas cerámicas.
- Equipo de ventas de Cerámicos Gala: Encargado del diseño y comercialización de las baldosas cerámicas.
- Competidores: Son las otras empresas que también ofrecen baldosas cerámicas. En el Perú, las dos más grandes son San Lorenzo y Celima.

Esta organización se puede observar de manera más ordenada en la figura número 8, “Mapa relacional del negocio”, que muestra como las diferentes partes se relacionan entre sí.

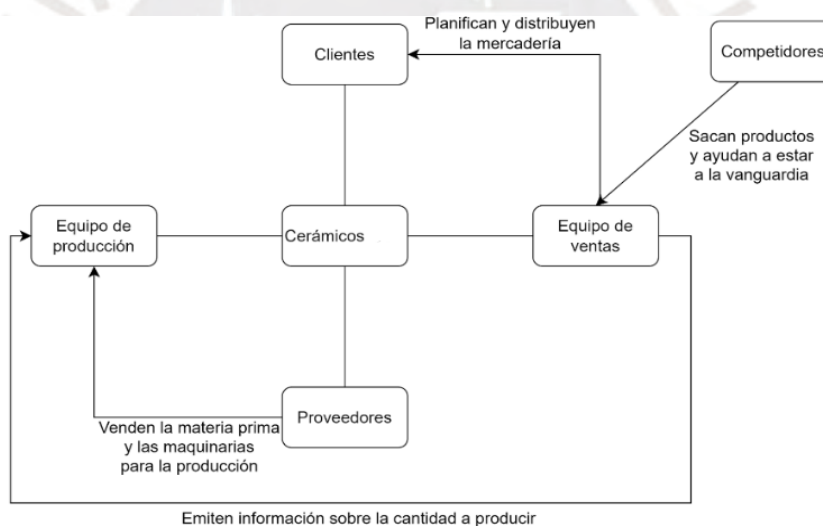


Figura 8. Mapa relacional del negocio o institución

Elaboración propia

Todo inicia con los proveedores que abastecen la materia prima: arcilla para las baldosas y esmalte para darle color a la pieza. También están los proveedores de maquinaria para la correcta producción. Antes de empezar a producir, el equipo de ventas informa a producción el modelo a desarrollar y la cantidad. Una vez que se haya producido, el equipo de ventas se encarga de distribuirlo.

2.3.4 Cadena de valor

La cadena de valor de la unidad de negocio Cerámicos es un modelo que describe las actividades que se realizan para crear valor para los clientes y generar ventajas competitivas. Cada punto de la cadena de valor representa una etapa del proceso productivo o comercial, desde la adquisición de los recursos hasta la entrega del producto final.

Las actividades primarias son aquellas que están directamente relacionadas con la producción y venta del producto, y que generan valor para los clientes. Estas actividades son:

- Logística interna: Almacenamiento y manejo de materia prima, asegurando que estén disponibles cuando se necesiten. También implica el control de inventarios, el transporte interno y la distribución de los insumos a las áreas de producción.
- Operaciones: Fabricación y elaboración de baldosas cerámicas utilizando materiales y maquinaria. Implica el seguimiento de los estándares de calidad, el cumplimiento de las normas de seguridad y la optimización de los recursos.
- Logística Externa: Procesamiento y manejo eficiente de pedidos para entregar productos terminados a los clientes o puntos de venta. También implica el control de inventarios, el transporte externo, el embalaje y la documentación.
- Marketing y Ventas: Fuerza de ventas que trabaja para promocionar, vender y distribuir el producto final al mercado objetivo. Implica el análisis de las necesidades y preferencias de los clientes, el desarrollo de estrategias de precio, producto, plaza y promoción, la comunicación y la fidelización.
- Servicio Post Venta: Resolución eficiente de quejas o problemas post venta, asegurando la satisfacción del cliente. También implica el ofrecimiento de garantías, devoluciones, reparaciones, asesoría, etc.

Las actividades de soporte son aquellas que apoyan y facilitan el desarrollo de las actividades primarias, pero que no están directamente relacionadas con la producción o venta del producto. Estas actividades son:

- Infraestructura de la Empresa: Se refiere a la planificación general y estructuración organizacional necesaria para llevar a cabo las operaciones. Incluye aspectos como la administración, la contabilidad, el control de calidad, la seguridad, la gestión ambiental, etc.

- **Gestión de Recursos Humanos:** Involucra la capacitación del personal para asegurar que tengan las habilidades necesarias para desempeñar sus funciones. También implica la selección, la motivación, la evaluación y la retribución de los empleados.
- **Desarrollo de Tecnología:** Enfocado en el diseño de productos, implicando innovación y mejora continua. También abarca la investigación, el desarrollo, la adaptación y la implementación de nuevas tecnologías que permitan optimizar los procesos productivos.
- **Compras:** Adquisición de maquinaria esencial para la producción, así como de los insumos y materiales necesarios para fabricar las baldosas cerámicas. Implica la búsqueda, la negociación, el contrato y el pago de los proveedores.

La figura numero 9 muestra a mayor detalle la cadena de valor de la empresa, más específicamente, la cadena de valor de la unidad de cerámicos, que es el rubro en el que nos especializaremos para esta investigación.



Figura 9. Cadena de valor de la unidad de negocios Cerámicos

Elaboración propia

2.3.5 Organización

A continuación, se detallarán las áreas dentro de la Unidad Cerámicos, mencionando sus objetivos y procesos principales.

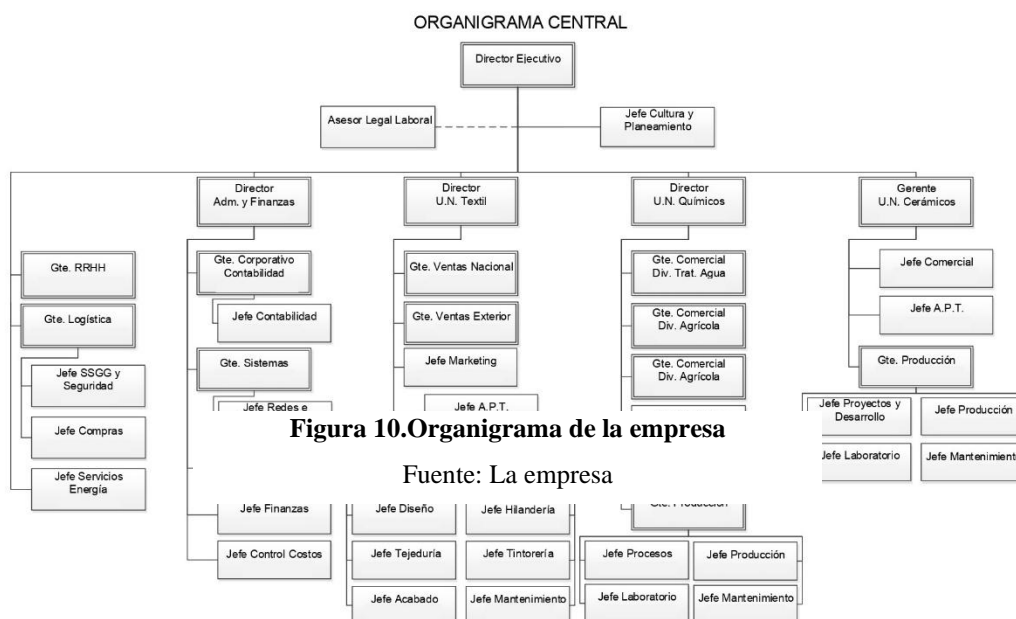
- **Proyectos:** Tiene como objetivos identificar oportunidades de mejora, proponer una mejor forma de realizar los procesos y adquirir lo necesario para implementar una mejora. De lo principal que se encargan es de evaluar los procesos productivos actuales mediante observación y seguimiento a sus indicadores, para identificar

cuellos de botella o posibles oportunidades de mejora, y realizar un reporte de ello. Pasado el reporte, se analizan posibles propuestas de mejora ya sea con un cambio de procedimiento o con la implementación de algo nuevo.

- **Producción:** Es el área encargada de planificar y verificar la correcta producción. Tiene como objetivos optimizar el rendimiento de las líneas de producción, asegurar la calidad del producto y la gestión de inventarios. En esta área se encargan de planificar cuánta materia prima se necesitará para cubrir la producción semanal y distribuir el Programa de Producción en las secciones de producción. También deben supervisar que las secciones de producción estén trabajando de acuerdo al Programa de Producción y verificar que cumplan con los parámetros solicitados. Cuando ya se haya producido, ingresar al sistema SAP los lotes y cantidades producidas de cada producto.
- **Laboratorio:** Es el área encargada de hacer el control de calidad tanto de materia prima como de producto terminado. Tiene como objetivos garantizar los estándares de calidad y la aceptación del cliente. Se encargan de hacer pruebas a los lotes de materia prima que llegan para ver si están aptos para la producción. Así como verificar que cada lote de producto terminado cumpla con los parámetros físicos que promete la marca. Se realizan pruebas de resistencia, abrasión, absorción de agua y se evalúa la colorimetría. En caso se encuentre algún defecto, analizan las posibles causas.
- **Mantenimiento:** Es el área encargada de que la maquinaria esté en buen funcionamiento. Tiene como objetivo principal asegurar la disponibilidad de la maquinaria para que las líneas de producción no tengan que parar, reduciendo el tiempo de inactividad. El equipo de mantenimiento se encarga de planificar y programar el mantenimiento preventivo de las máquinas para así prevenir errores y minimizar su impacto en la producción, además de corregir las fallas diarias.

La figura número 10 muestra el organigrama a detalle de la empresa, incluyendo el orden según rubro de trabajo, según los 3 rubros especializados de la empresa: Unidad Textil, Químicos, y Cerámicos, además de los puestos administrativos.

2.4



Descripción del proceso productivo

Se detallarán los procesos de la elaboración de baldosas cerámicas.

- a) Molienda de arcilla: En este paso, las cerámicas pasan por un proceso de refinamiento, ideal para generar la pasta del cerámico. Consiste en el proceso de reducir la materia prima (Arcilla), a partículas finas, con tamaño máximo de 0.297 mm, para esto, el material es sometido secuencialmente a una molienda primaria, donde el material sale con un tamaño máximo de 10 mm, y finalmente pasa a una molienda secundaria para obtener el polvo fino. Seguidamente pasa al proceso de humectación para llegar a una humedad de 6.9 a 7.1% y posteriormente es almacenado en los silos.
- b) Prensado: Proceso en seco que permite dar la forma y estructura a cada pieza cerámica. El material (polvo granulado y humectado) ingresa de forma automática a través de las tolvas de alimentación a los moldes de las prensas, donde es prensado desde 300 a 340 bares, adquiriendo su forma como baldosa, con una resistencia adecuada para soportar el movimiento en la línea de producción. Es en la prensa en donde se imprime el diseño (relieve) de las piezas, ya sean lisas o estructuradas.
- c) Secado: Proceso por el cual la pasta es sometida a un proceso de remoción de humedad y así pueda llegar en óptimas condiciones al proceso de esmaltado. Las baldosas previamente prensadas ingresan a un secadero horizontal de 5 pisos, para eliminar la humedad previa del proceso, hasta obtener una humedad

residual menor a 0.8%, saliendo las piezas a una temperatura aproximada de 65 grados.

- d) Esmaltado y decorado: Proceso en el que a cada pieza se le aplica una capa superficial de esmalte, lo que permitirá luego realizar una impresión en HD. Las piezas avanzan en forma continua en la línea de producción, donde reciben secuencialmente una aplicación de agua para humectar las piezas; luego se aplica una capa de engobe, y esmalte vitrificable, seguidamente se aplica la decoración mediante una máquina digital por inyección de tinta, luego se aplica una capa de esmalte cristalino para el brillo final o granillas, dependiendo del modelo.
- e) Horneado: Proceso en el que todas las piezas cerámicas son sometidas a altas temperaturas para obtener un producto vitrificado. Las baldosas ingresan a un horno continuo de cocción, llegando a temperaturas hasta cerca de 1115 grados centígrados, en un ciclo que va entre 25 y 30 minutos, donde la baldosa es cocida. De este proceso salen las baldosas a una temperatura alrededor de 100 - 115 grados centígrados con el acabado vitrificado final.
- f) Clasificado: Proceso por el cual la máquina realiza el clasificado de las piezas por formato y tono. Las baldosas que salen del horno avanzan automáticamente por la línea de producción a un equipo que selecciona las piezas por calidad, luego pasa al equipo de control dimensional para clasificar las piezas en sus calibres respectivos de acuerdo con las medidas detectadas; seguidamente estas piezas se apilan para luego ser divididas en paquetes y se encajan; luego las cajas son tomadas por los operarios para ser posicionadas en una paleta.
- g) Embalaje: La planta cuenta con un sistema de embalaje que permite un correcto almacenaje de los cerámicos. Luego del empaquetado, la paleta es asegurada mediante flejes plásticos y forrada con láminas plásticas de protección (*stretch film*).

La figura 11 presenta el diagrama de operaciones de bloques de todo el proceso productivo de los cerámicos.



Figura 11. Procesos en la elaboración de baldosas cerámicas

Elaboración propia

2.5 Indicadores del proceso

Los indicadores principales que se miden en la producción son los minutos de vacío del horno y porcentaje de primera calidad. También se mide el descarte de producto en diversos puntos de la línea. La tabla 3 presenta un ejemplo de los indicadores que se usan, con el ejemplo de mes de enero, y la diferencia de colores, estando los valores en rojo cuando el valor está por debajo de la meta, y en negro cuando el valor está por encima o igual que los valores esperados.

Tabla 3. Indicadores de Producción

Meta = 8%	2-ene	3-ene	4-ene	5-ene	6-ene	7-ene	8-ene	9-ene	10-ene	11-ene
VACIO L1										
VACIO L2	12%	10%	11%	28%	11%	3%	4%	11%	13%	16%
VACIO L1(min)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VACIO L2(min)	171.5	144.2	159.4	404.1	161.8	36.6	64.5	163.4	186.1	231.5
VACIO TOTAL (min)	171.5	144.2	159.4	404.1	161.8	36.6	64.5	163.4	186.1	231.5
QUIEBRA L1										
QUIEBRA L2	2%	5%	3%	12%	4%	4%	3%	5%	4%	5%
DESC L1										
DESC L2	9%	10%	9%	10%	8%	5%	5%	5%	7%	9%
CALIDAD ESPERADA 1	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
CALIDAD ESPERADA 2	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
%EXT L1										
%EXT L2	88%	85%	74%	82%	80%	86%	84%	89%	85%	84%
PROD L1										
PROD L2	15039	14968	15173	12883	15494	17212	17485	16375	16019	15903
PROD L1 APT										
PROD L2 APT	13653	13410	13684	11704	14250	16294	16507	15533	15253	14778
PROD TOTAL APT	13653	13410	13684	11704	14250	16294	16507	15533	15253	14778
PROD L1 PRIM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PROD L2 PRIM	11989	11368	10127	9548	11453	13966	13931	13899	12910	10680
PROD TOTAL PRIM	11989	11368	10127	9548	11453	13966	13931	13899	12910	10680

Fuente: BB.DD de la Empresa

Como puede observarse en la imagen, cada fin de turno el supervisor llena los datos de la producción según se requiere. Actualmente, la línea 1 está parada por lo que en todos los indicadores se verán datos faltantes de la misma. Se tiene el VACÍO L1 Y L2 tanto en

porcentaje como en minutos, y representan los minutos que estuvo vacío del horno tanto en la Línea 1 como en la línea 2. Otro indicador es QUIEBRA L1 Y L2, que son las piezas que se retiran antes del horno y se mide en porcentaje en ambas líneas; cabe resaltar que como no están cocidas, pueden ser reutilizadas en la molienda. A su vez, se mide DESCARTE L1 Y L2 que son las piezas que se retiran después del horno se mide en porcentaje; estas piezas si deben ser desechadas. La calidad esperada es fija y va de acuerdo a la meta del mes, que se puede apreciar está en 90%. Otro indicador es %EXT L1 y L2, que implica el porcentaje de calidad extra en cada línea, es decir, las baldosas con mejor calidad. Existen 2 calidades extra (o primera) y comercial (o segunda). Por último, se colocan los datos de cuánto se produjo en el día (PROD L1 Y L2), cuánto llegó al almacén de producto terminado (PROD L1 Y L2 APT) y la cantidad de baldosas de primera calidad que se tienen (PROD L1 Y L2 PRIM).



CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

En este capítulo se presenta el diagnóstico de la situación actual de la empresa, con el propósito de sustentar la necesidad de la propuesta de mejora. Para ello, se emplea una metodología que combina diversas herramientas de la Ingeniería Industrial. En primer lugar, se aplica la matriz de Proceso Analítico Jerárquico (AHP), que permite determinar el área con mayor nivel de criticidad dentro de la organización. Posteriormente, se utiliza el diagrama de Pareto para priorizar los problemas más relevantes y, finalmente, el análisis de Ishikawa con el fin de identificar las causas raíz que originan dichas problemáticas.

3.1 Justificación del área y proceso a analizar

La empresa en cuestión cuenta con diversas áreas dentro de su línea de producción de cerámicos, y cada una de ellas incluye una amplia variedad de procesos. Sin embargo, mapear cada área o proceso de manera individual resultaría inviable por la extensión de esta tesis. Por ello, se decidió concentrar los recursos en analizar un área y un conjunto específico de procesos, con el fin de aprovechar mejor los recursos disponibles y abordar en profundidad sus principales problemáticas desde una perspectiva más enfocada.

3.1.1 Selección del área de la empresa

Si bien se ha mencionado que la empresa cuenta con 3 grandes unidades de negocio, en este trabajo de investigación nos limitaremos a analizar solo a la unidad de negocios de Cerámicos. Esto porque tiene mayor oportunidad de mejora al ser la unidad de negocios con menor tiempo en el mercado. Dentro de esta empresa, se eligió el área de producción por las siguientes razones:

- Unidad de negocio con menor tiempo en el mercado: Su unidad de negocios cerámicos es la más reciente, y, por lo tanto, aún no está perfeccionada. Esto se puede tomar como una oportunidad de mejora ya que ayudaría a mejorar sus técnicas y con ello aumentar su competitividad. Si el proceso se hace más eficiente, la empresa se mantendrá relevante en el mercado y atraerá clientes.
- Área de la empresa de la cual depende la calidad: En esta área se pueden controlar con mayor precisión los factores críticos de la producción y hacer que tengan mejor acabado. Mientras más piezas de mejor calidad haya, mayores serán las ventas.

3.1.2 Selección del proceso a analizar

Para la selección del proceso a analizar, se buscará determinar el proceso crítico dentro del macroproceso de “Producción de baldosas”, el cual fue detallado en el inciso 2.4. Para esto, elaboramos una matriz de comparación pareada de criterios (método AHP), para determinar la importancia y peso ponderado de cada criterio. El método combina matemática con experiencias de criterio de un experto, para poder descomponer la toma de decisiones en subproblemas que son más fáciles de manejar. Los elementos se comparan primero entre sí, comparando elementos del nivel más bajo entre sí para poder hallar los pesos relativos de cada uno de estos. En este caso, el elemento más bajo serán los criterios de decisión, los cuales se comparan primero entre ellos mismos. De ahí, estos se comparan con el nivel superior, que, en este caso de estudio, serán los procesos dentro del macroproceso de producción de baldosas cerámicas.

Los criterios que usaremos para evaluar serán los presentes en la Tabla 4:

Tabla 4. Criterios a utilizar

Criterios
Numero de Operarios
Porcentaje de Reprocesos
Automatizacion del Proceso
Cantidad de recursos utilizados
Generacion de residuos
Impacto en el producto final

Elaboración propia

- **Número de Operarios:** La cantidad de operarios influye en la eficiencia de producción, un alto número de operarios podría indicar oportunidades para optimizar la mano de obra o redistribuir actividades y así mejorar la productividad de los operarios.
- **Porcentaje de Reprocesos:** Los reprocesos afectan los costos y la calidad. Un alto índice de reprocesos indica problemas en el proceso y permite identificar áreas donde se requiere ajustes en el procedimiento.
- **Automatización del Proceso:** La automatización puede aumentar la eficiencia, reducir errores y liberar a los operarios de hacer tareas repetitivas para hacer tareas más estratégicas.

- Cantidad de recursos utilizados: El uso eficiente de recursos como materiales y energía es importante para la rentabilidad de la empresa; mientras más recursos se utilicen, mayores serán los costos.
- Generación de residuos: La cantidad de residuos generados también aumenta los costos, ya que son materiales que dejarán de ser utilizados en el producto final.
- Impacto en el producto final: Este criterio mide qué tanto afecta el proceso en la calidad del producto final, normalmente es más alto en los procesos que afectan directamente en la creación de defectos.

Con estos criterios, procederemos a realizar la comparación pareada, para poder determinar el peso ponderado de cada uno, que nos ayudará a poder determinar el proceso crítico al realizar, tal como se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5. Matriz de Comparaciones pareadas - Criterio

Criterios	Numero de Operarios	Porcentaje de Reprocesos	Automatización del Proceso	Cantidad de recursos utilizados	Impacto en el producto final	Impacto en el producto final	Total	%
Numero de Operarios		1	2	2	3	3	10	24.4%
Porcentaje de Reprocesos	1		3	3	3	2	12	29.3%
Automatización del Proceso	0.5	0.333333333		0.333333333	2	1	4.167	10.2%
Cantidad de recursos utilizados	0.5	0.333333333	3		1	0.5	5.333	13.0%
Generación de residuos	0.333333333	0.333333333	0.5	1		0.333333333	2.5	6.1%
Impacto en el producto final	0.5	0.5	1	2	3		7	17.1%
							41	100

Elaboración Propia

Con los pesos ponderados determinados, podemos presentar la tabla 6, matriz de priorización de los procesos con los criterios estratégicos.

Tabla 6. Matriz de procesos - criterios

Procesos	Numero de Operarios	Porcentaje de Reprocesos	Automatización del Proceso	Cantidad de recursos utilizados	Impacto en el producto final	Impacto en el producto final	Ponderación	Nivel de Importancia
	24.4%	29.3%	10.2%	13.0%	6.1%	17.1%		
Molienda de Arcilla	1	1	1	5	5	5	2.447	10.1%
Prensado	1	5	3	5	3	3	3.358	13.8%
Secado	5	3	1	1	3	3	3.024	12.4%
Esmaltado	5	5	3	3	3	5	4.415	18.1%
Decorado	3	5	3	3	3	3	3.585	14.7%
Horneado	3	3	3	3	3	3	3	12.3%
Clasificado	1	1	5	3	1	3	2.008	8.3%
Embalaje	3	1	5	3	1	3	2.496	10.3%
							24.333	100%

Elaboración propia

Tras analizar los resultados, vemos que el proceso crítico con un mayor porcentaje fue el de esmaltado, seguido por el proceso de decorado, cosa que no es de sorprender pues estos dos procesos están entrelazados al ser el decorado la

continuación directa del esmaltado, y siendo los dos procesos encargados de elaborar el diseño de la pieza.

3.2 Identificación de problemas

Se pasará a listar los problemas de la sección de esmaltado y decorado para su posterior priorización de acuerdo con su impacto económico anual.

3.2.1 Lista de problemas

En el esmaltado y decorado, se pudieron identificar 11 problemas que estarían afectando negativamente en la calidad de las baldosas.

1. **Alto tiempo de preparación de campana:** Cada turno o cada que se hace un cambio de producto, se debe preparar la campana. Esto consiste en limpieza y ajustes, lo que consume demasiado tiempo y hace que sea tiempo muerto.
2. **Alto tiempo de parada de la línea:** La línea de esmalte se detiene con frecuencia por averías en los equipos o superposición de piezas, que hacen reacción en cadena generando vacíos.
3. **Baldosas con burbujas:** Las burbujas atrapadas en las baldosas afectan su resistencia y apariencia. Pueden surgir debido a problemas en la mezcla, la temperatura o la presión del esmalte.
4. **Baldosas con variación de textura:** La textura inconsistente en las baldosas puede afectar su calidad y apariencia. Puede ser causada por problemas en los pesos del esmalte o la forma de aplicación.
5. **Problemas de adherencia del esmalte:** Si el esmalte no se adhiere correctamente a la superficie de las baldosas, se producirán defectos visibles que afectan la durabilidad del producto.
6. **Accidentes laborales leves durante el proceso de esmaltado:** Se producen incidentes de seguridad como cortes, golpes o fracturas de dedos en el peor de los casos.
7. **Consumo innecesario de esmalte:** Se utiliza más esmalte del necesario durante el esmaltado, lo que genera desperdicio de materiales y aumento de costos de producción.
8. **Mal aprovechamiento de la tinta:** La tinta no se usa de manera eficiente por lo que aumentan los costos, esto puede deberse a una mala calibración de la máquina de impresión.

9. **Parada súbita de la máquina impresora:** La máquina se detiene sin previo aviso, lo que interrumpe el flujo de trabajo y puede generar que las piezas sigan corriendo sin diseño si no se detecta este fallo a tiempo. Puede deberse a un problema de software o error operativo.
10. **Parada súbita de la máquina Qualitron:** Esta máquina que es utilizada para el control de calidad, se detiene de manera inesperada, lo que afecta a la inspección de baldosas y permitiendo que productos defectuosos continúen su camino.
11. **Alto porcentaje de baldosas quebradas en la línea:** Un número significativo de baldosas se quiebran mientras hacen su recorrido por la línea de esmalte, ya que algunas piezas giran mal, algunas partes vibran y hacen que la pieza se parta o la velocidad hace que unas se montan sobre otras, lo que representa pérdida de material.

3.2.2 Priorización de Problemas

Para el impacto económico, se procedió a buscar calcular el impacto económico unitario asociado a cada problema. Este puede ser entendido como la pérdida en la que se incurre al generarse el problema, en los casos que el problema está relacionado con pérdida de material (por ejemplo, los casos donde un problema con una baldosa y se tiene que desechar), o, en los casos donde el problema es mal utilización del tiempo, la pérdida económica está asociada al costo de oportunidad en base a los minutos perdidos (cuánto podría haber producido la empresa en esos minutos perdidos).

Paso siguiente, se va a buscar cuantificar los problemas a través de la frecuencia anual de cada uno de estos, es decir, cuántas veces en un año es que se suscitaron cada uno de estos problemas. Teniendo el impacto económico unitario y la frecuencia anual, se medirá el impacto económico anual, y con la suma de este, podremos encontrar la frecuencia de cada problema.

Con la suma de frecuencias podemos hallar la frecuencia acumulada, la cual nos servirá para poder elaborar el Diagrama de Pareto. En la tabla 7, se presenta el impacto económico asociado a cada problema detectado.

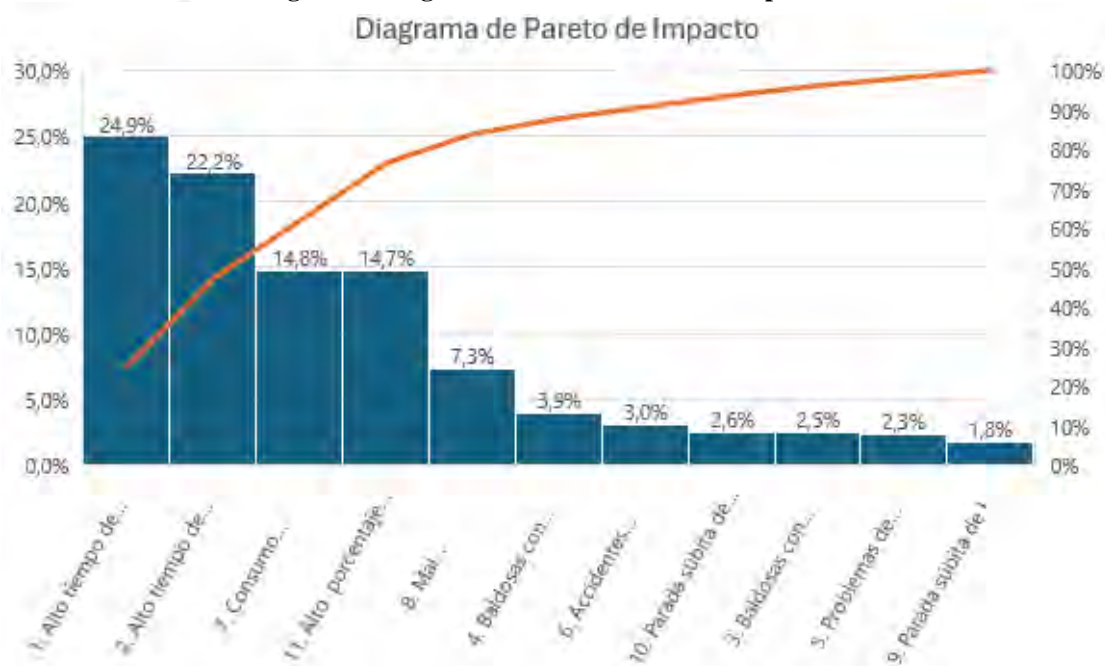
Tabla 7. Impacto Económico por Problema

Lista de Problemas	Economico Unitario	Frecuencia Anual	Impacto Economico al Año	Frecuencia	Frecuencia Acumulada
1. Alto tiempo de preparación de campana	4387.5	365	1601437.5	24.9%	24.9%
2. Alto tiempo de parada de línea	487.5	2920	1423500	22.2%	47.1%
7. Consumo innecesario de esmalte	1.47	645699	949177.53	14.8%	61.9%
11. Alto porcentaje de baldosas quebradas en la línea	2.2	430466	947025.2	14.7%	76.6%
8. Mal aprovechamiento de la tinta	0.82	573955	470643.1	7.3%	83.9%
4. Baldosas con variación de textura	2.2	114791	252540.2	3.9%	87.8%
6. Accidentes laborales leves durante el proceso de esmaltado	17800	11	195800	3.0%	90.8%
10. Parada súbita de la máquina Qualitron	23400	7	163800	2.6%	93.4%
3. Baldosas con burbujas	2.2	71744	157836.8	2.5%	95.9%
5. Problemas de adherencia de esmalte	1.47	100442	147649.74	2.3%	98.2%
9. Parada súbita de la máquina impresora	11700	10	117000	1.8%	100.0%

Elaboración Propia

Con estos porcentajes, elaboramos el grafico de Pareto presente como la Figura 12.

Figura 12. Diagrama de Pareto de la lista de problemas



Elaboración propia

Siguiendo la regla de Pareto del “80-20”, podemos concluir que nuestros problemas críticos serán los problemas 1, 2, 7 y 11.

3.3 Identificación de causas críticas

Como puede observarse en el Pareto, las causas críticas son 4. Para analizar la causa raíz de estas, primero se realizará el Diagrama de Ishikawa de cada una y así poder identificar las

causas, luego se hará una matriz PI que permite ver la relevancia de estas y por último se realizará el análisis mediante el método de los 5 porqués.

3.3.1. Diagrama de Ishikawa

3.3.1.1. Alto tiempo de preparación de campana

Las posibles causas del alto tiempo de preparación de campana en la producción de cerámicos están relacionadas con varios factores, los cuales se presentan en la figura número 13. Estos incluyen procedimientos no estandarizados, falta de mantenimiento preventivo en las máquinas, personal no capacitado adecuadamente, un área de trabajo desordenada y la ausencia de indicadores adecuados para medir el desempeño. Para abordar este problema, sería crucial implementar estándares claros, capacitar al personal, mantener regularmente los equipos y mejorar la organización del entorno de trabajo.



Figura 13. Diagrama de Ishikawa de Alto tiempo de preparación de Campana

Elaboración propia

3.3.1.2. Alto tiempo de parada de la línea

Para el alto tiempo de parada de la línea, las posibles causas están presentes en la figura 14, e incluyen suministro irregular de piezas porque si los materiales no llegan de manera constante o puntual, podría haber demoras en la producción; personal no capacitado en el manejo de las máquinas porque puede llevar a errores y tiempos de parada prolongados; procedimientos no estandarizados que pueden generar confusión; mantenimiento reactivo en lugar de preventivo porque el corregir tarda más que el prevenir y por último, falta de registro y análisis efectivo de los tiempos de parada ya que sin un seguimiento adecuado, es difícil que no se evite que se repita.

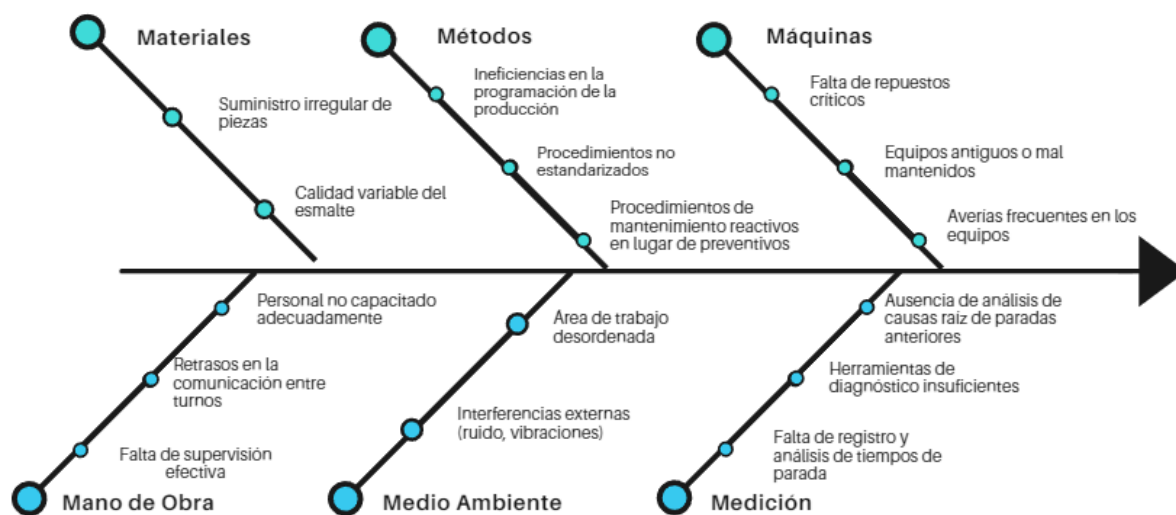


Figura 14. Diagrama de Ishikawa de Alto tiempo de parada de la línea

Elaboración propia

3.3.1.3. Consumo innecesario de esmalte

Las posibles causas del consumo innecesario de esmalte en la producción son las mencionadas en la figura número 15, y están relacionadas con varios factores, respecto a materiales asociamos que hay mezclas inapropiadas de esmalte, porque si las proporciones de los componentes del esmalte no son adecuadas, podría haber desperdicio. Respecto a mano de obra, el personal no capacitado adecuadamente en el manejo de las máquinas puede llevar a un uso ineficiente del esmalte ya sea por exceso de uso o exceso de merma al lavar los componentes. La falta de atención a los ahorros de recursos hace que el personal no esté consciente de la importancia de ahorrar recursos. Al hablar de métodos, los procesos no estandarizados podrían resultar en aplicaciones inconsistentes y la falta de control sobre la cantidad aplicada y desechada hace que sea difícil evitar y cuantificar el desperdicio. En cuanto a máquinas, con los equipos antiguos o mal mantenidos podría haber un uso ineficiente del esmalte y equipos aplicadores descalibrados pueden llevar a aplicaciones incorrectas. Por último, respecto a la medición, la falta de herramientas para medir el consumo hace que sea difícil controlar la cantidad de esmalte utilizado.

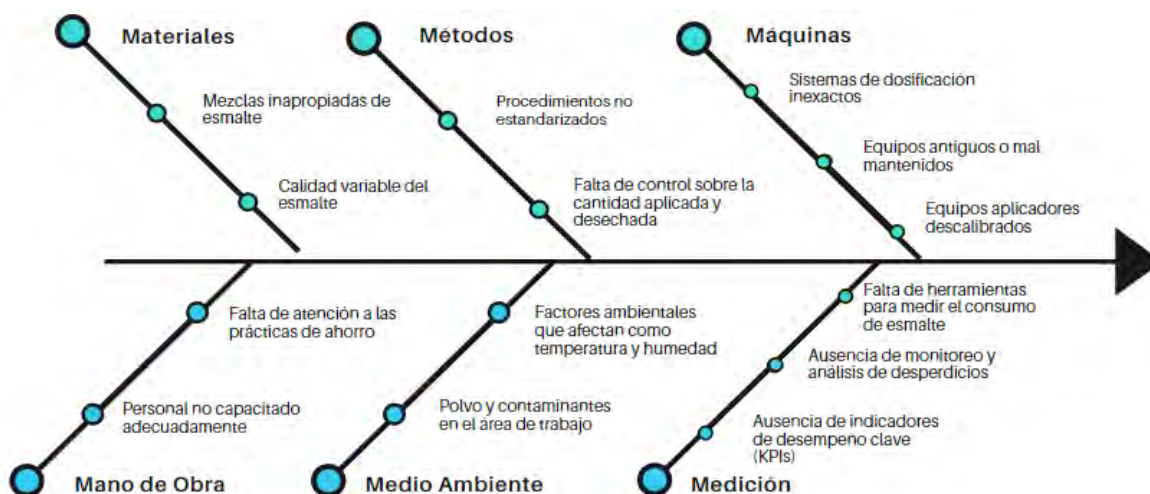


Figura 15. Diagrama de Ishikawa de Consumo Innecesario de Esmalte

Elaboración propia

3.3.1.4. Alto porcentaje de baldosas quebradas

El alto porcentaje de baldosas quebradas puede deberse a varios factores, los cuales son nombrados en la figura número 16. En primer lugar, la calidad inconsistente de las baldosas crudas podría hacer que algunas sean más frágiles y propensas a romperse durante el proceso de esmaltado. Otro motivo podría ser la falta de un correcto personal capacitado. El personal no capacitado adecuadamente podría manejar las baldosas de manera brusca o torpe, aumentando el riesgo de rotura. El entorno de trabajo también influye: un área de trabajo desordenada o con superficies en malas condiciones pueden afectar la integridad de las baldosas, ocasionando que éstas se quiebren. Por último, las máquinas desgastadas o mal calibradas también pueden contribuir al problema, pues una máquina cuyas revoluciones son a una velocidad mayor a la esperada puede causar que la baldosa se quiebre, generando desperdicio.



Figura 16. Diagrama de Ishikawa de Alto Porcentaje de Baldosas Quebradas

Elaboración propia

3.3.2. Matriz PI

A partir de los diagramas elaborados, se han extraído las causas más frecuentes o las de mayor importancia para el proceso productivo. Estas han sido separadas según criterio (Máquina, Método, Materiales, Mano de Obra, Medio Ambiente, Medición), y ordenadas en la tabla número 8, con el fin de facilitar la identificación de estas:

Tabla 8. Causas de primer nivel

Causas Raíz					
Máquina	Método	Materiales	Mano de Obra	Medio Ambiente	Medición
Falta de mantenimiento preventivo	Pasos innecesarios en el proceso	Falta de disponibilidad de materiales necesarios	Desmotivación o falta de compromiso del personal	Área de trabajo desordenada	Falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación
Falta de respuestas críticos	Procedimientos no estandarizados	Calidad inconsistente de los materiales de limpieza	Falta de experiencia en el manejo de equipos	Posiciones ergonómicas inadecuadas al momento de hacer la parada	Posiciones ergonómicas inadecuadas al momento de hacer la parada
Equipos antiguos o mal mantenidos	Ineficiencias en la programación de la producción	Suministro irregular de piezas	Personal no capacitado adecuadamente	Interferencias externas (ruido, vibraciones)	Ausencia de análisis de causas raíz de paradas anteriores
Averías frecuentes en los equipos	Procedimientos de mantenimiento reactivos en lugar de preventivos	Calidad variable del esmalte	Retrasos en la comunicación entre turnos	Factores ambientales que afectan como la temperatura y humedad	Herramientas de diagnóstico insuficientes
Sistema de dosificación inexactos	Falta de control sobre la cantidad aplicada y desechal	Mezclas inapropiadas del esmalte	Falta de supervisión efectiva	Polvo y contaminantes en el área de trabajo	Falta de registro y análisis de tiempo de parada
Equipos aplicadores descalibros	Errores en la programación de velocidades y tiempos	Calidad inconsistente de las baldosas crudas	Falta de atención a las prácticas de ahorro	Superficies de trabajo inadecuadas	Falta de herramientas para medir el consumo de esmalte
Desgaste en componentes críticos		Uso de materiales inadecuados para el transporte	Manejo descuidado o brusco de las baldosas		Ausencia de monitoreo y análisis de desperdicios
					Métodos inadecuados para detectar quiebras
					Falta de registro y análisis de baldosas dañadas

Elaboración propia

Se procederá a realizar una valoración por impacto y probabilidad de ocurrencia para cada una de las causas de primer nivel identificadas. Esta valoración se está realizando con fundamento de lo observado en el funcionamiento de la empresa, además de respuestas obtenidas por parte del jefe de producción. La probabilidad de ocurrir el suceso se mide de números del 1 al 5, y se mide que tan probable es que suceda cada una de estas causas. En el caso del impacto, que se mide igualmente del 1 al 5, mide la magnitud de las consecuencias o efectos que dicha causa podría tener sobre la línea de producción. Ambos se miden en orden

ascendente (siendo 1 el más bajo posible y 5 el más alto). El resultado será igual a multiplicar ambos valores, y este resultado podrá ser asociado a un cierto nivel de impacto asociado a una escala, las cuales se observan en la tabla 9. Se tienen 5 tipos de causas críticas: Controlado, Serio, Disruptivo, Severo y Crítico; cada una ha sido asociada a un color.

Tabla 9. Probabilidad x Impacto

Resultado	
25-20	Crítico
19-10	Severo
9-8	Disruptivo
7-3	Serio
2-1	Controlado

Elaboración propia

A continuación, presentamos la tabla número 10, tabla de Probabilidad x Impacto, con el resultado asociado a cada una de las causas críticas. De estas, determinaremos cuales son las causas críticas, pues trabajaremos nuestra propuesta de mejora buscando mitigar dichas causas de mayor puntaje.

Tabla 10. Análisis de causas críticas por Probabilidad x Impacto

Causa	Probabilidad	Impacto	Resultado
Falta de mantenimiento preventivo	4	5	Crítico
Falta de repuestos críticos	2	4	Disruptivo
Equipos antiguos o mal mantenidos	2	3	Serio
Averías frecuentes en los equipos	3	4	Severo
Sistemas de dosificación inexactos	2	5	Severo
Equipos aplicadores descalibrados	3	5	Severo
Desgaste en componentes críticos	3	5	Severo
Pasos innecesarios en el proceso	2	3	Serio
Procedimientos no estandarizados	4	5	Crítico
Ineficiencias en la programación de la producción	1	4	Serio
Procedimientos de mantenimiento reactivos en lugar de preventivos	4	3	Severo
Falta de control sobre la cantidad aplicada y desechada	3	2	Serio
Errores en la programación de velocidades y tiempos	3	3	Disruptivo
Falta de disponibilidad de materiales necesarios	1	5	Serio
Calidad inconsistente de los materiales de limpieza	2	2	Serio
Suministro irregular de piezas	3	2	Serio
Calidad variable del esmalte	3	3	Disruptivo
Mezclas inapropiadas de esmalte	3	1	Serio
Calidad inconsistente de las baldosas crudas	2	4	Disruptivo
Uso de materiales inadecuados para el transporte	3	4	Severo

Desmotivación o falta de compromiso del personal	2	4	Disruptivo
Falta de experiencia en el manejo de equipos	4	5	Crítico
Personal no capacitado adecuadamente	4	4	Severo
Retrasos en la comunicación entre turnos	3	5	Severo
Falta de supervisión efectiva	4	4	Severo
Falta de atención a las prácticas de ahorro	4	2	Disruptivo
Manejo descuidado o brusco de las baldosas	2	5	Severo
Área de trabajo desordenada	4	5	Crítico
Posiciones ergonómicas inadecuadas al momento de hacer la parada	2	3	Serio
Interferencias externas (ruido, vibraciones)	3	3	Disruptivo
Factores ambientales que afectan como temperatura y humedad	4	2	Disruptivo
Polvo y contaminantes en el área de trabajo	1	3	Serio
Superficies de trabajo inadecuadas	2	3	Serio
Falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación	4	5	Crítico
Métodos inadecuados para medir la eficiencia del proceso	2	4	Disruptivo
Ausencia de indicadores de desempeño clave (KPI's)	3	4	Severo
Ausencia de análisis de causas raíz de paradas anteriores	3	3	Disruptivo
Herramientas de diagnóstico insuficientes	4	4	Severo
Falta de registro y análisis de tiempos de parada	3	4	Severo
Falta de herramientas para medir el consumo de esmalte	4	2	Disruptivo
Ausencia de monitoreo y análisis de desperdicios	4	3	Severo
Métodos inadecuados para detectar quiebras	3	4	Severo
Falta de registro y análisis de baldosas dañadas	3	3	Disruptivo

Elaboración propia

Al extraer de la matriz Probabilidad x Impacto las causas críticas, podemos observar que son las siguientes:

- **Falta de mantenimiento preventivo:** Esta causa raíz indica que no se están realizando inspecciones y mantenimientos regulares a las campanas y equipos utilizados en el proceso de esmaltado. El mantenimiento preventivo es crucial para evitar fallas inesperadas y tiempos prolongados de inactividad.

- **Procedimientos no estandarizados:** Sin procedimientos claramente definidos y estandarizados para las operaciones de esmaltado, el proceso puede variar significativamente entre los turnos o los operadores. Esto lleva a inconsistencias en la calidad del producto y tiempos de preparación prolongados.
- **Área de trabajo desordenada:** Un entorno desordenado puede dificultar la eficiencia operativa. El desorden puede causar demoras en la búsqueda de herramientas o materiales necesarios, aumentando así el tiempo de preparación y contribuyendo a un ambiente de trabajo menos seguro y organizado.
- **Falta de experiencia en el manejo de equipos:** La falta de experiencia en el manejo de equipos se refiere a la insuficiente capacitación o práctica de los operadores y técnicos en el uso de maquinaria y herramientas específicas utilizadas en la producción. Esto puede resultar en una operación incorrecta o deficiente de los equipos, tiempos de inactividad no planificados, riesgos de seguridad y una disminución en la calidad del producto final. La inexperiencia puede conducir a errores que afectan el flujo de trabajo y la productividad general.
- **Falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación:** La falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación se refiere a la ausencia de un sistema eficaz para medir y documentar los tiempos necesarios para preparar y ajustar los equipos y procesos antes de iniciar la producción. Sin este monitoreo, es difícil identificar cuellos de botella, ineficiencias y áreas que requieren mejora. Esta carencia impide la optimización de los procesos de preparación, lo que puede resultar en tiempos de inactividad prolongados, uso ineficiente de recursos y menor productividad.

Se presenta, a continuación, la tabla número 11, la cual presenta las causas críticas, como también el resto de las causas, según su categoría identificada.

Tabla 11. Matriz Probabilidad - Impacto

I M P A C T O	5	<ul style="list-style-type: none"> Falta de disponibilidad de materiales necesarios 	<ul style="list-style-type: none"> Sistemas de dosificación inexactos Manejo descuidado o brusco de las baldosas 	<ul style="list-style-type: none"> Equipos aplicadores descalibrados Desgaste en componentes críticos Retrasos en la comunicación entre turnos 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación Procedimientos no estandarizados Falta de experiencia en el manejo de equipos Área de trabajo desordenada Falta de mantenimiento preventivo 	
	4	<ul style="list-style-type: none"> Ineficiencias en la programación de la producción 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de repuestos críticos Calidad inconsistente de las baldosas crudas Desmotivación o falta de compromiso del personal Falta de experiencia en el manejo de equipos 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación Métodos inadecuados para medir la eficiencia del proceso Averías frecuentes en los equipos Uso de materiales inadecuados para el transporte Métodos inadecuados para detectar quiebras Ausencia de indicadores de desempeño clave (KPIs) Falta de registro y análisis de tiempos de parada 	<ul style="list-style-type: none"> Herramientas de diagnóstico insuficientes Personal no capacitado adecuadamente Falta de supervisión efectiva 	
	3	<ul style="list-style-type: none"> Polvo y contaminantes en el área de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> Equipos antiguos o mal mantenidos Pasos innecesarios en el proceso Posiciones ergonómicas inadecuadas al momento de hacer la parada Superficies de trabajo inadecuadas 	<ul style="list-style-type: none"> Errores en la programación de velocidades y tiempos Calidad variable del esmalte Interferencias externas (ruido, vibraciones) Ausencia de análisis de causas raíz de paradas Falta de registro y análisis de baldosas dañadas 	<ul style="list-style-type: none"> Procedimientos de mantenimiento reactivos en lugar de preventivos Falta de monitoreo y análisis de desempeño 	
	2		<ul style="list-style-type: none"> Calidad inconsistente de los materiales de limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de control sobre la cantidad aplicada y desechada Suministro irregular de piezas 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de atención a las prácticas de ahorro Factores ambientales que afectan como temperatura y humedad Falta de herramientas para medir el consumo de esmalte 	
	1			<ul style="list-style-type: none"> Mezclas inorooladas de esmalte 		
		1	2	3	4	5
		PROBABILIDAD				

Elaboración propia

A continuación, se realizará un análisis de los 5 por qué, con el fin de identificar las causas raíz de las causas críticas identificadas.

1. Falta de mantenimiento preventivo

- ¿Por qué no se ha realizado el mantenimiento preventivo? Porque los equipos no están siendo revisados regularmente.
- ¿Por qué los equipos no están siendo revisados regularmente? Porque no se ha establecido un programa de mantenimiento preventivo formal.
- ¿Por qué no se ha establecido un programa de mantenimiento formal? Porque el equipo de producción no ha encontrado un momento adecuado para detener la línea y hacer el mantenimiento preventivo.
- ¿Por qué el equipo no ha analizado cuál sería un buen momento para ejecutar el mantenimiento preventivo? Porque se ha priorizado la producción inmediata continua para cumplir con los pedidos, dejando el mantenimiento en segundo plano, solo cuando la máquina se descomponen.
- ¿Por qué se ha priorizado la producción inmediata sobre el mantenimiento preventivo? Porque no se han reconocido los beneficios del mantenimiento preventivo: aumentar la vida útil de los equipos, reducir los tiempos de inactividad no planificados, y mejor calidad de las baldosas.

2. Procedimientos no estandarizados

- ¿Por qué hay procedimientos en el proceso de esmaltado y decorado que no han sido estandarizados? Porque no existe documentación clara y actualizada de los procedimientos operativos.
- ¿Por qué no existe una documentación clara y actualizada sobre la estandarización de procedimientos operativos? Porque no se ha asignado un responsable dentro del área de producción encargado de la estandarización de procesos.
- ¿Por qué no se ha designado un encargado de la estandarización de procesos, dentro del área de producción? Porque la empresa ha priorizado otras prioridades antes de la estandarización, dejando esta como última prioridad, y ha dejado a los operarios trabajar cada uno a su manera cada procedimiento con el fin de obtener buenos resultados.
- ¿Por qué la empresa ha puesto como última prioridad la estandarización, a pesar de que podría ser beneficiosa? Porque la empresa actualmente se centra más en la producción diaria y resolución de problemas inmediatos. La empresa considera que la estandarización de procesos llevaría a los operarios a tener que aprender de cero todo el proceso, afectando el tiempo productivo de estos.
- ¿Por qué se ha priorizado el tiempo disponible de los operarios y su producción, sobre la estandarización de procesos? Porque la empresa no ha reconocido que los procedimientos estandarizados pueden mejorar la consistencia de las baldosas, reducir errores, tiempos de ciclos, además de facilitar el ingreso de nuevo personal.

3. Área de trabajo desordenada

- ¿Por qué el área de trabajo está desordenada? Porque no se realiza una limpieza sistemática del área de trabajo.
- ¿Por qué no se realiza una limpieza sistemática del área de trabajo? Porque no se ha aplicado la herramienta 5S para establecer criterios de organización o de limpieza.
- ¿Por qué no se ha aplicado las 5S para establecer criterios de limpieza? Porque no se ha capacitado a los trabajadores sobre la importancia de mantener un área de trabajo ordenada y limpia.
- ¿Por qué no se ha capacitado a los trabajadores en la metodología 5S? Porque la prioridad de la empresa es actualmente cumplir los objetivos de producción, y mientras esto se cumpla, la empresa no le da tanta importancia a la organización del lugar de trabajo, esté limpio o sucio, con tal que los trabajadores produzcan lo requerido.

- ¿Por qué se ha priorizado principalmente la producción, y no la organización del lugar de trabajo? Porque no se ha reconocido que un área de trabajo correctamente organizada tras la aplicación de la metodología 5S puede mejorar la seguridad, la eficiencia del proceso, la moral de los trabajadores, y la calidad del producto.

4. Falta de experiencia en el manejo de equipos

- ¿Por qué hay falta de experiencia en el manejo de equipos? Porque el personal nuevo no recibe capacitación adecuada al ingresar a la planta.
- ¿Por qué no reciben una capacitación adecuada al ingresar a la planta? Porque no se ha establecido un programa de capacitación continua para nuevos empleados, con formación profunda en el manejo de equipos
- ¿Por qué no se ha establecido un programa de capacitación detallado en el manejo de equipos? Porque la empresa ha detectado que la rotación de personal es alta, y no le ve sentido a desarrollar tanta capacitación para operarios que no estarán mucho tiempo. La empresa prefiere apoyarse en los operarios con más tiempo para las consultas.
- ¿Por qué entonces la empresa no aprovecha a los operarios con más experiencia para que apoyen a los operarios nuevos? Porque la empresa ha priorizado la producción inmediata, y necesita a los operarios en sus puestos de trabajo.
- ¿Por qué la empresa ha priorizado la producción inmediata, antes de aprovechar a los operarios experimentados en capacitar a los nuevos operarios? Porque la empresa no ha reconocido que se puede implementar un sistema *Jidoka* capaz de detectar errores de los usuarios, emitir una señal, y permitir la intervención de un operario más experimentado.

5. Falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación

- ¿Por qué falta el monitoreo y registro de tiempos de preparación? Porque no se lleva a cabo una recopilación sistemática de datos sobre los tiempos de preparación de las máquinas del esmaltado y decorado.
- ¿Por qué no se lleva a cabo una recopilación sistemática de estos datos? Porque no se ha establecido un procedimiento claro y estandarizado para el registro de tiempos de preparación.
- ¿Por qué no se han establecido procedimientos claros y estandarizados de toma de tiempos? Porque la empresa no ha priorizado realizar un estudio de tiempos en el momento, por lo que no tiene interés en recopilar los tiempos.

- ¿Por qué la empresa no ha priorizado realizar un estudio de tiempos? Porque la empresa está más centrada en cumplir mis metas diarias de producción, y mientras esto se cumpla, no buscan invertir en más mejoras.
- ¿Por qué la empresa está centrada solo en cumplir las metas diarias de producción? Porque la empresa no ha identificado que, con el análisis de los tiempos, puede evaluar una metodología como SMED para trabajar con sus operarios.

3.4 Propuestas de contramedidas

En este inciso, se explicarán las contramedidas propuestas para cada una de las causas críticas identificadas. Para esto, se ha elaborado una tabla. La tabla 12 presenta, primero, las causas raíz identificadas en el apartado previo, y para cada una de estas, se ha establecido una contramedida, es decir, una propuesta de mejora continua a la línea que ataque directamente el problema encontrado por el análisis de los 5 por qué. Posteriormente, se ha identificado las herramientas de *Lean Manufacturing* que se utiliza para tratar dicho problema, es decir, la herramienta de *Lean* que utiliza la contramedida para atacar el problema directamente, y, por último, una descripción a detalle de cómo se establecerá la contramedida y cuál sería su resultado esperado.

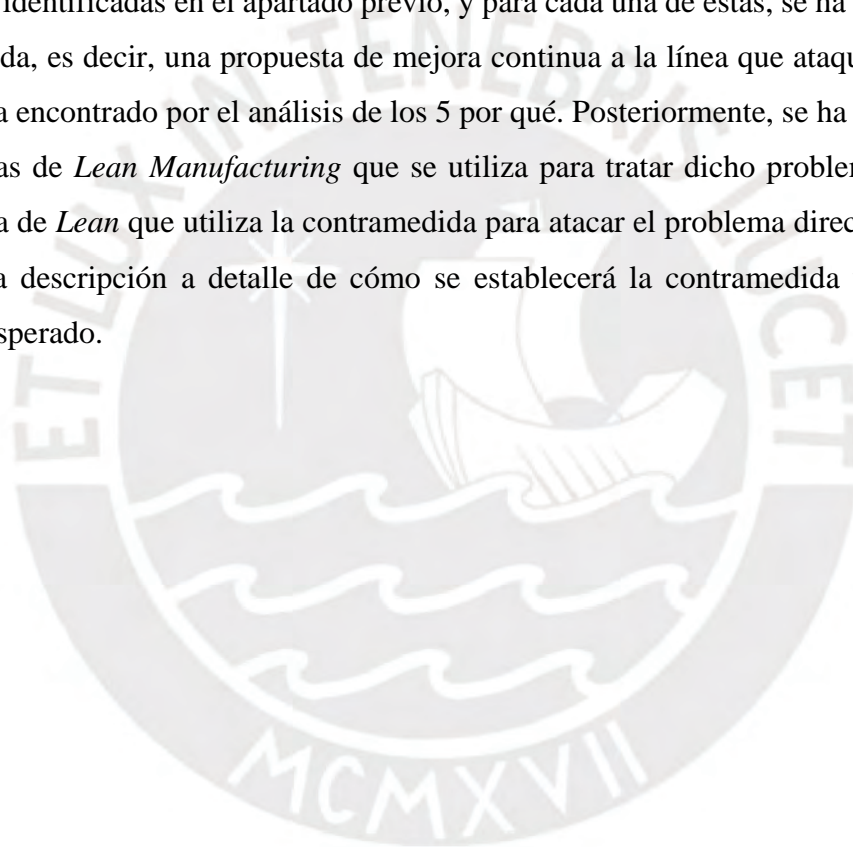


Tabla 12. Tabla de aplicación de Herramientas por Causa Raíz

Causa Raíz	Contramedida	Área	Herramienta	Descripción
Falta de mantenimiento preventivo	Implementación de un plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM) para abordar la falta de mantenimiento preventivo		TPM	Se propone implementar TPM para involucrar a los operarios en el mantenimiento diario de las máquinas, prevenir fallas y aumentar la eficiencia. Se asignará un operario por máquina para supervisión diaria y se harán auditorías mensuales para evaluar la mejora.
Procedimientos no estandarizados	Capacitación de los operarios en el uso de la inspección visual para detectar fallas y comportamientos fuera de lo común de la línea , además de la implementación de un sistema de luces Andon		Andon	Se diseñará un plan visual de capacitación para ayudar a los operarios a identificar fallas y problemas en la línea. Esto se apoyará en un sistema Andon y en carteles con imágenes claras que faciliten la detección inmediata de fallas y el mantenimiento autónomo.
Área de trabajo desordenada	Aplicación de los criterios de las 5S para crear un espacio de trabajo mas ordenado	Producción	5S	Se aplicará la metodología 5S para mejorar la organización, limpieza y estandarización del área de trabajo: Seiri: Clasificar y eliminar lo innecesario. Seiton: Ordenar herramientas y materiales. Seiso: Limpiar constantemente el área. Seiketsu: Estandarizar procesos de limpieza y orden. Shitsuke: Fomentar la disciplina y el hábito de mantener el orden.
Falta de experiencia en el manejo de equipos	Los equipos pueden detenerse automáticamente cuando un error es detectado, permitiendo la intervención y corrección por parte de un operador mas experimentado		Jidoka	Se implementará Jidoka para que las máquinas se detengan automáticamente ante anomalías. Los operarios podrán parar el proceso para inspección, fortaleciendo la calidad y la solución inmediata de problemas.
Falta de monitoreo y registro de tiempos de preparación	La implementación de SMED busca reducir drásticamente los tiempos de preparación y cambio de herramientas		SMED	Se usará SMED para reducir drásticamente los tiempos de cambio de herramientas. Se busca pasar de tiempos mayores a una hora a menos de 10 minutos, eliminando pasos innecesarios y estandarizando el proceso.

Elaboración Propia

CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

En este capítulo se desarrollan las propuestas de mejora planteadas a partir del diagnóstico realizado en el capítulo anterior. Una vez identificadas las causas raíz de los principales problemas y las áreas críticas, se implementan las herramientas de Lean Manufacturing más adecuadas para abordar cada una de ellas, como se detalla en la última tabla. En ese sentido, se aplican las metodologías TPM, SMED, 5S, *Jidoka* y *Andon*, seleccionadas según su capacidad para optimizar los procesos y reducir las pérdidas detectadas. Cada propuesta se presenta de manera estructurada, indicando un proyecto de mejora que detalla las acciones, fases de implementación y estrategias destinadas a garantizar la sostenibilidad de los resultados en el tiempo.

4.1 Aplicación de la Mejora: TPM

A continuación, se procederá a explicar la aplicación del Mantenimiento Productivo Total dentro del proceso de Esmaltado y Decorado. Como punto inicial, se explicará la situación actual de ambos procesos. Las tablas 13, 14 y 15 explican a detalle la maquinaria utilizada en el proceso, y los planes de mantenimiento actuales con los que trabaja la empresa.

Posteriormente, se detallará la aplicación del proyecto de mejora siguiendo el marco teórico presentado en el capítulo 1. Se explicará la implementación del proyecto de mejora, según 4 pilares de los 8 pertenecientes al TPM: Entrenamiento, Mejora Enfocada, Mantenimiento Autónomo y Mantenimiento Continuo.

Para asegurar la correcta aplicación y sostenibilidad del sistema TPM, se conformará un comité de TPM, integrado por representantes de las áreas de Producción y Mantenimiento. Este comité será responsable de coordinar y supervisar las actividades asociadas a los 4 pilares seleccionados, así como de promover la participación del personal operativo.

4.1.1 Situación Actual

El proceso de esmaltado inicia cuando las baldosas salen del proceso de secado, que es el proceso previo, a través de la faja transportadora. La faja Transportadora se encarga de transportar las baldosas a lo largo de toda la línea de producción.

Actualmente, el área de esmaltado y decorado está a cargo de solamente 3 operarios, decisión tomada por el previo *Planner* de mantenimiento, el cual determinó que este era el

número óptimo de operarios en la línea con un balance de línea. Los operarios de la línea de esmaltado y decorado tienen la labor de vigilar la ejecución del proceso productivo, asegurando que las máquinas se encuentren funcionando correctamente de manera automática. Al mismo tiempo, ellos intervienen en aquellas funciones que necesitan intervención humana, entre las cuales tenemos:

- Cambiado de cilindro en la máquina Rotocolor o la máquina MultiRoll
- Realizar el cambio y lavado de campana, cada vez que se va a cambiar el color del esmalte en la línea de producción.
- Detener de emergencia una máquina en caso el operario detecte un imprevisto, o la máquina empiece a mostrar signos de avería. En caso esto suceda, detiene también la faja transportadora, y avisa al área de mantenimiento.

Tabla 13. Especificación de Máquinas del proceso de Esmaltado y Decorado

N.º	Nombre de la Máquina	Función
1	Escobillas	Limpia la superficie de las baldosas cerámicas antes del esmaltado, eliminando suciedad y defectos. Funciona con motores que mueven escobillas en un circuito ovalado. Se revisa cada 15 días y se cambian las escobillas mensualmente según estándares.
2	Sopladores	Enfrían, secan y eliminan residuos de las baldosas mediante aire comprimido. Operan con un motor que garantiza flujo constante y permiten verificar el estado de los rodamientos.
3	Cabina de Agua	Aplica agua a alta presión sobre las baldosas para limpiar micro partículas antes del engobe y esmaltado. Se alimenta de un tanque y se limpia regularmente.
4	Campana, Vibro tamiz y Vasca	Las campanas aplican engobe y esmalte sobre las baldosas. El engobe cubre la superficie con una mezcla de arcilla y se mantiene en movimiento para evitar sedimentación. El esmalte se aplica en diversos colores y se cambia según el lote. Las baldosas avanzan automáticamente para permitir secado y ventilación.
5	Rebarbador y Virador de fila	Máquina automática con discos que lijan los bordes de las baldosas. Tiene dos etapas: el primer rebordeador trata los bordes iniciales y el segundo, los restantes. Los discos se reemplazan cada 2-3 días por desgaste y cada 3 meses se cambian rodamientos y bandas.
6	Rotocolor	Impresora rotativa que aplica diseños al inicio del proceso de decoración, antes del esmaltado. Usa un cilindro para transferir tinta de forma continua y precisa. Se cambia fácilmente según producción y tiene un botón de parada de emergencia.
7	Kerajet	Impresora digital controlada por software que aplica tintas en alta resolución (azul, beige, amarillo, etc.) sobre la baldosa. Utiliza tintas base agua y un sistema de recarga continua con filtro. Opera en un ambiente cerrado para proteger la calidad de impresión.
8	Checkpoint y Martillo	Sistema de control de calidad que evalúa cada baldosa impresa. Usa sensores láser, de color, dimensiones y resistencia para validar cumplimiento con estándares. Las baldosas que no cumplen son quebradas por el martillo y reingresan al proceso.
9	Multiroll	Máquina similar al Rotocolor que aplica una capa protectora sobre la baldosa mediante un rodillo giratorio. Puede trabajar con protectores rústicos o brillantes según el acabado deseado.
10	Cabina Airless	Aplica el recubrimiento cristalino VIDRES mediante un sistema airless de pulverización a alta presión, formando una niebla fina que cubre uniformemente toda la baldosa, incluso en zonas difíciles.
11	Cabina de Discos	Utiliza discos giratorios especiales para distribuir estos recubrimientos sobre la baldosa. A medida que avanza, el material se transfiere de los discos a su superficie, garantizando una aplicación homogénea.
12	Granilladora	Máquina que aplica granilla por prensado únicamente a baldosas que ya han recibido una capa de granilla fina en la cabina de discos.

Elaboración Propia

El mantenimiento de todas las máquinas de la planta, y, por ende, de las máquinas del proceso de esmaltado y decorado, está a cargo del área de mantenimiento general. Los miembros de esta área se encargan de, en caso una máquina presente un problema, movilizarse hasta el área de la máquina, inspeccionarla a detalle, dictaminar sobre la gravedad de la avería, y empezar el tratamiento. En caso de que sea una avería mayor, que requiera de un repuesto, se trae el repuesto del almacén. Si no se tuviera dicho repuesto específico en almacén, se verifica el inventario de la empresa, con el fin de encontrar si dicho repuesto se encuentra en algún almacén. En caso de que la empresa no cuente con dicho repuesto, se compra dicho repuesto al fabricante y se solicita el envío lo antes posible.

Adicionalmente, la empresa suele emplear técnicos extranjeros especializados en producción de cerámica. Estos técnicos suelen ser llamados cuando se requiere un mantenimiento específico de una máquina y no se cuenta con el especialista adecuado en Perú, por lo que se coordina con un técnico especializado del servicio al cliente del fabricante. Por ejemplo, las máquinas Kerajet o Rotocolor, las cuales, al ser máquinas fabricadas por empresas extranjeras, sus técnicos especializados suelen encontrarse también fuera del país.

Cabe resaltar que actualmente, dentro de las áreas de esmaltado, decorado y de las líneas de producción de la empresa en general, no existe un plan de mantenimiento preventivo para las máquinas. Solamente existe el mantenimiento correctivo, el cual se da después que una falla sea detectada en las máquinas.

Actualmente, hay dos posiciones sumamente importantes relacionadas al mantenimiento que se encuentran vacantes. El primero es el puesto de supervisor de mantenimiento, responsable de garantizar el mantenimiento y el óptimo funcionamiento de la maquinaria de la empresa. Su objetivo es minimizar las paradas operativas y asegurar que los equipos produzcan de manera continua y en las mejores condiciones, sin fallos. El segundo puesto es el de técnico de mantenimiento especializado para la máquina KeraJet S7. Aunque actualmente su mantenimiento está a cargo del área de mantenimiento general, la empresa busca incorporar un técnico exclusivamente dedicado a esta máquina. Esto se debe a que la KeraJet S7 es un equipo altamente especializado, cuyas necesidades técnicas requieren de un conocimiento específico que no todos los técnicos poseen sin la experiencia adecuada. Además, dado que estas máquinas son importadas desde España y juegan un papel crucial en el proceso de diseño de la cerámica es fundamental que se mantengan en funcionamiento continuo. En caso de una parada, es imprescindible que se solucione lo más rápido posible. Sin embargo, hasta ahora, la empresa no ha logrado encontrar a un candidato con las

cualidades necesarias para desempeñar este rol. A continuación, para seguir con el análisis de la situación inicial de la línea de producción de esmaltado y decorado, la figura 17 presenta el conglomerado de los minutos de parada de las máquinas de esmaltado y decorado, recopilados del archivo *Power BI* que manejan los supervisores de línea. Para los motivos de este trabajo, se analizarán los resultados de los meses de junio a agosto de 2024.



Figura 17. Detalle de Minutos de parada, por área

Fuente: La empresa

En base al gráfico anterior, se ha descargado y analizado la data, y se ha podido generar la tabla 14, que presenta, en el mismo tiempo, los minutos de parada para todas las máquinas de la línea, para tanto la línea 1 como la línea 2 del área de decorado y esmaltado de la fábrica.

Tabla 14. Detalle de tiempos de parada, por Equipo y Línea

Equipos	Tiempos de Parada	
	Línea 1(min)	Línea 2(min)
Campana (Lavado)	3789	912
Kerajet (Impresora)	3146	1062
Rodillo Multiroll 650	0	1208
Otros	258	707
Rodillo Rotacolor	831	0
Granilladora	461	0
Virador de Piezas Cerami	436	270
Maquina Check Point NG	283	0
Maxicompensador	462	859
Cabina de Disco	240	50
Rebarbador de Piezas	319	427
Campana (Aplicación Bas	193	45
Formador de Filas	83	811
Campana (Engobe)	61	49
Inverter	58	594
Faja transportadora	49	0
Cabina Airless	48	0
Atomización de Agua	30	118
Distanciador de Filas	24	169
Kerajet (Tren de ruedas)	3	396

Fuente: La empresa

Este detalle de parada puede observarse a mayor detalle en la figura 18, que ordena la información en forma de un gráfico de barras.

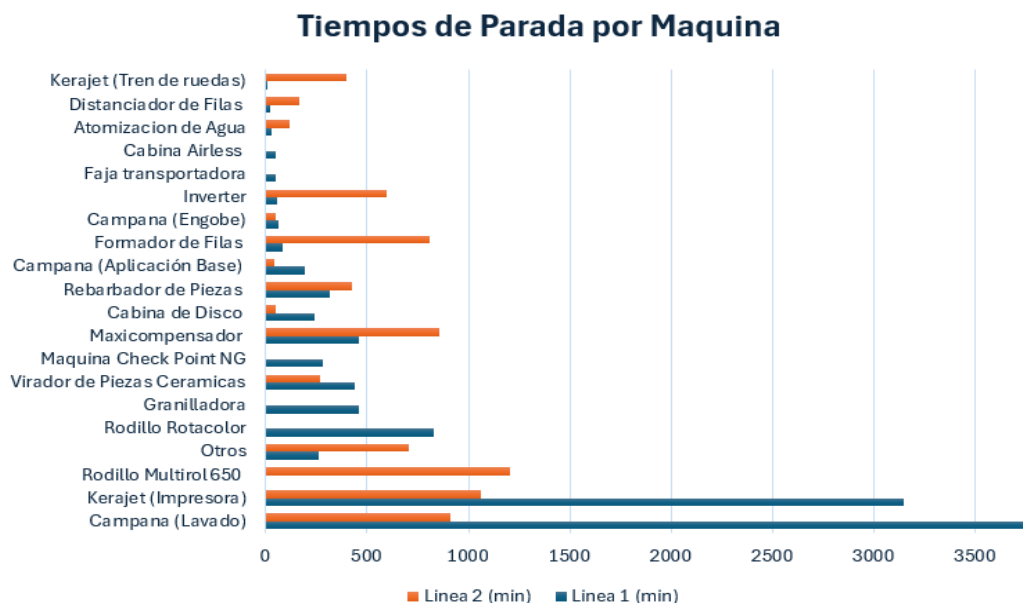


Figura 18. Gráfico de Barra de tiempo de Parada por Maquina

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 Proyecto de mejora

Tras realizar el análisis de los tiempos de parada por máquina, se observa que algunas presentan un estado más crítico que otras. Sus altos niveles de detenciones han generado una clara disrupción en el proceso productivo, afectando significativamente la eficiencia operativa. A continuación, se presentará un proyecto de mejora diseñado a medida, basado en tres de los pilares del Total Productive Maintenance (TPM): Mejora orientada, Mantenimiento autónomo y Mantenimiento planificado.

Se implementará un comité de TPM que estará conformado por el Planner de mantenimiento, el analista de mantenimiento, un mecánico, un electricista y dos operadores líderes de las líneas de esmaltado y decorado. Este equipo se reunirá una vez por semana con el objetivo de evaluar resultados, revisar avances en los pilares TPM y programar las actividades de mejora. A su vez, será responsable de capacitar al personal operativo para garantizar el cumplimiento de las actividades. Cabe resaltar que la conformación del comité no genera costos adicionales, ya que se conforma con personal existente de la empresa que destinará parte de su jornada a las reuniones TPM.

4.1.2.1 Pilar de Mejora Orientada

Suzuki (1994) en su libro “TPM en Industrias de Proceso” define a la mejora orientada como “actividades que maximizan la eficacia global de equipos, procesos y plantas a través de una intransigente eliminación de pérdidas y la mejora de rendimientos.”. Es decir, una mejora enfocada es una intervención dentro del proceso productivo que tiene como objetivo optimizar la eficiencia de los equipos y maquinaria, mejorando sus condiciones de operación. Esto se logra mediante un plan de acción cuidadosamente diseñado, que aborda de manera específica los problemas identificados en cada equipo o máquina.

Suzuki detalla que la mejora orientada busca eliminar toda clase de pérdidas, por lo que es sumamente importante identificar estas pérdidas a través de un análisis previo, y cuantificar las pérdidas que las malas condiciones están generando. A partir de este análisis, se pueden identificar pérdidas, lo cual nos sirve para ponderar aquellas máquinas o equipos los cuales se encuentran en una situación más crítica. Usando estos resultados, se puede hacer un rastreo de las condiciones para encontrar las causas, y proponer mejoras que ataquen directamente estas.

El análisis de mejora se centró en las tres máquinas con mayor tiempo de parada: la campana (debido al lavado manual al cambiar el color), la impresora Kerajet y el rodillo Rotocolor en la línea 1, y el rodillo Multiroll 650 en la línea 2. Esta priorización busca maximizar el impacto de las mejoras y optimizar recursos, enfocándose en las principales causas de ineficiencia. Para entender las razones detrás de las paradas, se analizarán los motivos llenados por los supervisores de turno en el reporte de paradas. Se utilizó el software *RStudio* para realizar un análisis de palabras clave extraídas de los reportes, eliminando redundancias y agrupando datos de forma cuantitativa. Este enfoque permite identificar términos relevantes para abordar problemas críticos en las máquinas seleccionadas.

El análisis reveló que el lavado de campana es la mayor fuente de inactividad y será tratado mediante la metodología SMED para reducir el tiempo manual necesario. En las otras máquinas, la frecuencia de palabras clave confirma su estado crítico, con incidencias que van desde 30 hasta más de 120 menciones, frente a otras con menos de tres. Este resultado valida la decisión de concentrar las mejoras en estas máquinas, donde los aprendizajes podrán extenderse gradualmente al resto del proceso. A continuación, la figura 19 muestra el reporte en su totalidad.

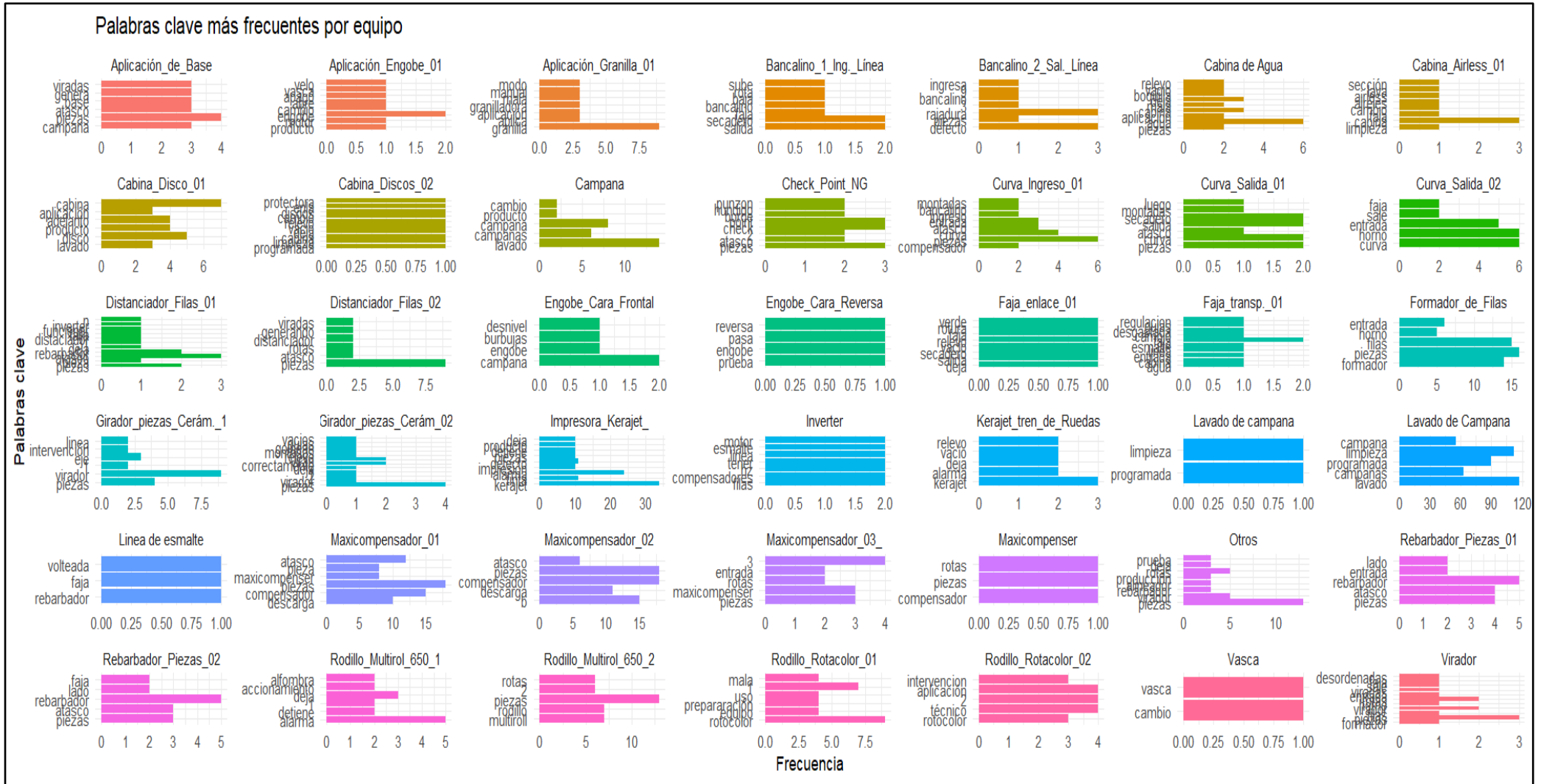


Figura 19. Conjunto de gráficos de barra de Keywords de parada

Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo, vemos que el alto volumen de palabras puede dificultar la visualización de todas las *Keywords*, por lo que elaboramos la figura 20, de las 3 máquinas elegidas.



Figura 20. Gráfico de barra de Keywords para maquina criticas

Fuente: Elaboración Propia

Si bien este gráfico más aislado nos permite una mejor visualización de las *Keyword* y su conteo, otra ventaja de *R Studio* es que también incluye la opción de generar “*Word Clouds*”. Esta es una representación visual que muestra la frecuencia de términos clave, donde las palabras más grandes indican una mayor mención. Este enfoque permite identificar rápidamente patrones y temas relevantes, además de permitir un mejor análisis individual para cada máquina.

Máquina Kerajet

La Figura 21 muestra el *Word Cloud* de la Kerajet, y evidencia la cantidad significativa de reportes de parada asociados a esta máquina, reflejando su situación crítica. Utilizando cinco colores para representar rangos de frecuencia, se observa que el rango más alto (gris) corresponde al nombre de la máquina, lo cual es esperable y no aporta nueva información. Sin embargo, el rango amarillo (20-30 repeticiones) destaca la palabra "alarma", indicando que muchas paradas podrían estar relacionadas con activaciones de alarma, lo que sugiere la necesidad de evaluar si estas activaciones fueron justificadas o si el sistema requiere ajustes. En los rangos intermedios (lila y naranja), palabras como "impresión", "tinta", "comunicación", "gota" y "PLC" revelan problemas recurrentes, como desalineaciones, derrames de tinta y fallos de comunicación entre componentes.

El rango lila (9-20 repeticiones) señala problemas significativos relacionados con la calidad de impresión y defectos en el producto, mientras que el rango naranja (5-8 repeticiones) identifica incidencias menos frecuentes, como desfases en la impresión y fallos menores en el equipo. Estas categorías permiten priorizar problemas críticos y recurrentes, así como atender inconvenientes menores que pueden contribuir a la mejora general de la máquina, proporcionando una base sólida para acciones correctivas específicas.

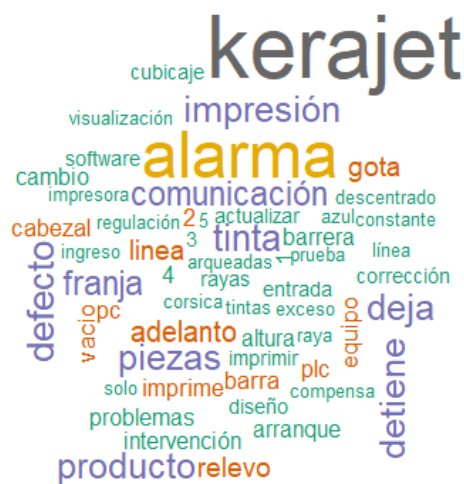


Figura 21. Gráfico de Keywords de Kerajet

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los hallazgos obtenidos del análisis de palabras clave de la data de la máquina Kerajet, se ha elaborado la Figura 22, el árbol de fallas. Esta herramienta permite descomponer los eventos principales en unidades mínimas mediante lógica, además que facilita la visualización del análisis, ayudándonos a comprender de manera más clara y detallada los fallos en el sistema.

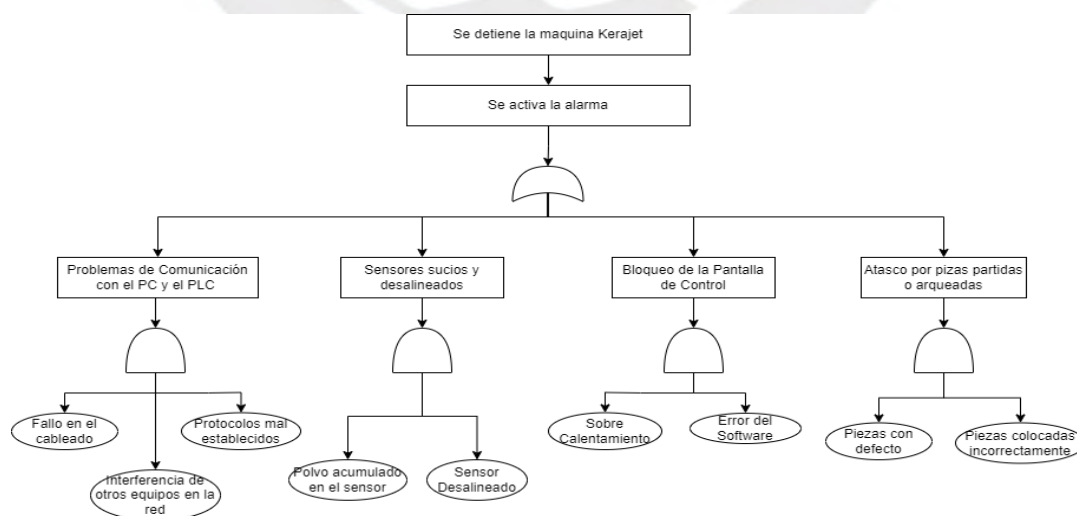


Figura 22. Análisis de árbol de fallas de la Kerajet

Fuente: Elaboración Propia

Del diagrama de árbol de fallas, se han detectado cuatro posibles causas para la activación de la alarma de la máquina Kerajet, acción que ocasiona que la máquina se detenga, parando la línea entera. Estas suelen ser problemas de comunicación entre el PC y el PLC, sensores sucios y desaliñados, bloqueo en la pantalla de control y atasco por piezas partidas o arqueadas. Se ha buscado desmenuzar cada una de estas causas en la mayor cantidad de sub-causas posibles. Las sub-causas que tenemos son las siguientes:

- **Fallo en el cableado:** Los problemas en el cableado pueden causar interrupciones en la transmisión de señales entre el PC y el PLC. En el caso de la máquina Kerajet, el PLC (Controlador Lógico Programable) se encarga de recibir las señales desde los sensores, y enviarlas a la computadora (PC) para asegurar tareas como que las piezas estén en la posición correcta para la impresión, como regular la velocidad que pasan las piezas de estación de impresión a estación fallo en el cableado puede resultar en pérdida de datos o en la incapacidad del PLC para recibir órdenes del PC, afectando el control de la máquina, y ocasionando la parada de la línea entera.
- **Interferencia de otros equipos en la red:** La interferencia en la red entre la comunicación del PLC y la PC puede ser ocasionada por diversos equipos, como motores, fuentes de alimentación que pueden generar picos de voltaje, u otros dispositivos inalámbricos. Esta interferencia puede generar problemas de sincronización entre estas dos partes, lo que llevaría a errores en la lectura de sensores, descoordinación en el control de procesos, o activación de alarmas de seguridad, obligando a la línea a detener la máquina, y perdiendo eficiencia operativa.
- **Protocolos mal establecidos:** La ausencia de un protocolo claro y definido de comunicación entre el PC y el PLC puede generar que el sistema no siga las pautas correctas para enviar y recibir información, llevando a confusiones a la hora de transmisión de datos, y que comandos no se ejecuten correctamente. Esta descoordinación podría desencadenar fallos en la operación de la Kerajet, obligando a los operarios a detener la máquina, y con esto, la línea de producción.
- **Polvo acumulado en el sensor:** La acumulación de polvo y suciedad en los sensores pueden afectar su capacidad para identificar con precisión la posición de las baldosas cerámicas. Como consecuencia, la impresión sobre la baldosa puede no estar adecuadamente alineada dentro de su área designada, lo que obliga a detener la línea de producción para prevenir fallos adicionales.

- **Sensor Desalineado:** La vibración de la máquina o el desgaste acumulado con el tiempo pueden alterar la ubicación o la orientación del sensor respecto a sus condiciones originales, lo que resulta en lecturas inexactas, especialmente en relación con la posición de la baldosa durante el proceso de impresión. Esta discrepancia puede dar lugar a impresiones incorrectas, lo que obliga a detener la línea de producción para evitar la repetición de fallos similares.
- **Sobre Calentamiento:** Esto es ocasionado cuando los diversos componentes se calientan, afectando negativamente el rendimiento de la máquina. Altas temperaturas de los componentes sin un efectivo sistema de ventilación ocasionan que los componentes fallen, lo que puede llevar al bloqueo de la pantalla.
- **Error del software:** En este caso, una actualización incorrecta o incompleta del software, o una sobrecarga de tareas que el sistema no puede gestionar adecuadamente, pueden provocar errores en el software que resulten en el congelamiento de la pantalla de control. Estos fallos no solo detienen el funcionamiento de la máquina, sino que también pueden generar alarmas innecesarias, afectando la continuidad del proceso productivo
- **Piezas con defecto:** Las piezas defectuosas, como las arqueadas, son una causa común de atascos. Al tener dimensiones distintas a las aceptadas en el área debajo de las impresoras de la Kerajet, no son compatibles con el equipo y son rechazadas, lo que provoca una obstrucción en la línea de producción. Esta obstrucción detiene el proceso, obligando a realizar una parada para limpiar y retirar las piezas atascadas.
- **Piezas colocadas incorrectamente:** Otro factor que contribuye a los atascos es la incorrecta colocación de las piezas dentro de la línea de producción. Si las piezas no se colocan correctamente en las guías o cintas transportadoras, pueden moverse de manera irregular, deslizarse mal o girarse antes de entrar a la impresora Kerajet, lo que significa que las dimensiones no serán compatibles y la máquina rechazara la pieza, obligado a realizar una parada para acomodar las piezas.

Máquina Rotocolor

Para analizar las causas de las paradas de la máquina Rotocolor de la línea 1, se aplicó la misma metodología utilizada con la Kerajet, basada en un análisis de palabras clave seguido

de un árbol de fallas. El *WordCloud* mostró un menor número de *Keywords*, categorizadas en cinco rangos según su frecuencia. El rango más alto (gris) incluye solo el nombre de la máquina, "Rotocolor", algo esperable y sin aporte significativo. El segundo rango (marrón) contiene la palabra "1", que simplemente indica la línea de la máquina. Como se observa en la figura 23, en los rangos intermedios, se identificaron palabras como "mala", "usó", "equipo" y "preparación" (fucsia, 5-6 repeticiones), junto con "alarma" y "aplicación" (lila, 3-4 repeticiones). Finalmente, en el rango más bajo (naranja, 2 repeticiones) se encuentran "protectora", "defecto" y "tapeto". Estas *Keywords* ofrecen pistas sobre problemas específicos, como preparación inadecuada o defectos menores, proporcionando una base para identificar causas raíz y proponer soluciones.



Figura 23.Gráfico de Keywords de Rotocolor

Fuente: Elaboración Propia

Se llevará a cabo un análisis similar al realizado con la máquina Kerajet, utilizando un WordCloud de palabras clave para identificar posibles conexiones entre ellas. Esto nos permitirá construir la figura 24, el árbol de análisis de fallas.

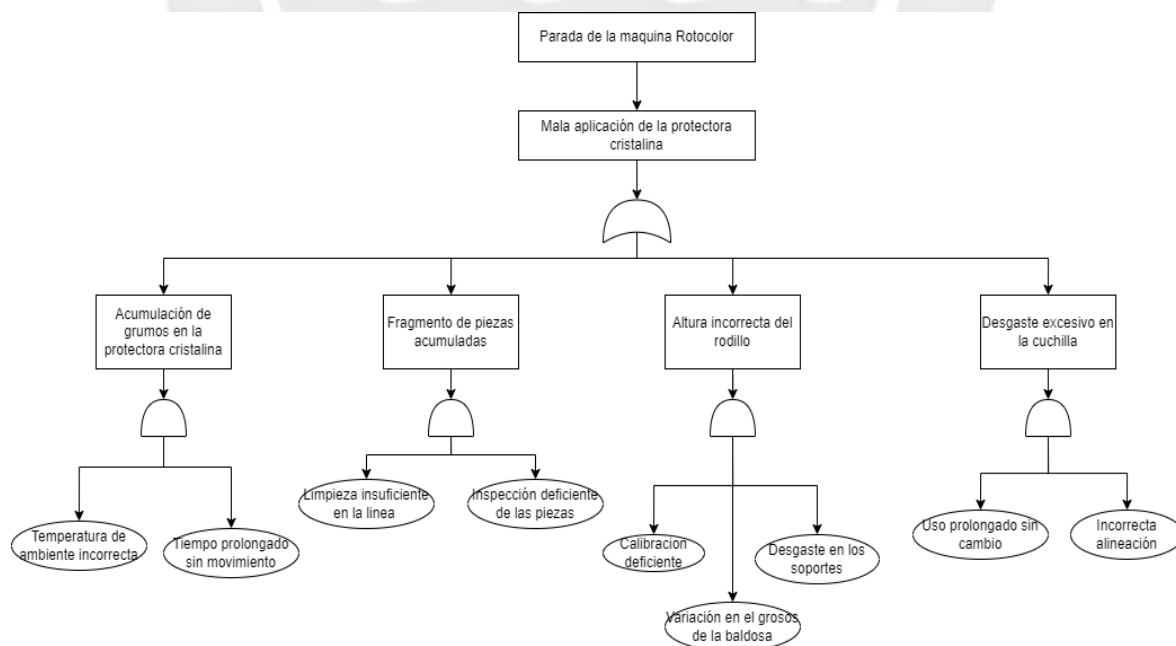


Figura 24.Análisis de árbol de fallas de la Rotocolor

Fuente: Elaboración propia

De este diagrama, se han detectado 4 posibles causas para el problema principal, que es la parada de la máquina Rotocolor debido a una mala aplicación de la protectora cristalina, siendo estas la acumulación de grumos en la protectora cristalina, fragmento de piezas acumuladas, altura incorrecta del rodillo, y desgaste excesivo en la cuchilla. De estas 4 posibles causas, se han extraído las siguientes sub-causas:

- **Temperatura de ambiente incorrecta:** La temperatura del ambiente en el que se encuentra el rodillo de la máquina Rotocolor puede afectar la consistencia y fluidez del protector cristalino que se afecta sobre las baldosas. Si la temperatura es muy baja, el protector se vuelve más espeso, y más propenso a formar grumos.
- **Tiempo prolongado sin movimiento:** Cuando el rodillo de la máquina permanece inactivo durante largos periodos de tiempo, el protector puede asentarse y formar grumos debido a la falta de circulación del material. Esto puede ocasionar una parada imprevista para limpiar y restablecer el sistema.
- **Limpeza insuficiente en la línea:** Cuando no se realiza una limpieza adecuada y frecuente en la línea de producción, los fragmentos de piezas rotas pueden acumularse en diferentes áreas, como las cintas transportadoras, los rodillos o las guías de la máquina. Estos fragmentos pueden quedar atrapados, generando obstrucciones que afectan la operación fluida de la máquina Rotocolor.
- **Inspección deficiente de las piezas:** Una inspección inadecuada de las piezas antes de entrar en la máquina Rotocolor puede permitir que piezas dañadas, con grietas o fragmentos, ingresen al proceso de decoración. Cuando el rodillo aplica presión sobre estas piezas, los fragmentos pueden quedar atrapados, lo que provoca que el rodillo dañe otras baldosas durante su funcionamiento.
- **Calibración deficiente:** Una calibración inadecuada del rodillo puede dar lugar a una altura incorrecta, lo que afecta la presión ejercida sobre las baldosas durante el proceso de decoración. Si el rodillo no está correctamente ajustado, puede estar demasiado alto o bajo, lo que provoca una aplicación inconsistente del protector cristalino. Esto no solo afecta la calidad del acabado, sino que también puede resultar en un desgaste prematuro de los componentes de la máquina, generando más problemas operativos.
- **Variación en el grosor de la baldosa:** Si las baldosas no tienen un grosor uniforme, el rodillo puede quedar en una posición no óptima para aplicar el esmalte de manera

efectiva. Esto podría ocasionar que la baldosa sea muy delgada y pase encima sin la aplicación del protector, o que la baldosa sea muy gruesa y quede atorada. En ambos casos, se necesitará una parada para ajustar la altura del rodillo, que afecta la productividad de la línea.

- **Desgaste en los soportes:** Con el tiempo, el desgaste de los soportes del rodillo puede causar que este no mantenga la altura adecuada durante su funcionamiento. Si los soportes están dañados o deteriorados, pueden comprometer la estabilidad del rodillo, lo que afectará su posición y la presión ejercida sobre las baldosas.
- **Uso prolongado sin cambio (de cuchilla):** La cuchilla de la máquina Rotocolor, como cualquier cuchilla, es propensa al desgaste del filo, que disminuye su eficacia. Actualmente la máquina no cuenta con un sistema de registro de cambios, y muchos operarios no avisan a los operarios del turno siguiente sobre si se ha realizado el cambio o no, lo que ocasiona confusión sobre este tema, y generar paros de línea constantemente para cambiar la cuchilla, o revisar si se ha cambiado la cuchilla o no.
- **Incorrecta alineación:** Una alineación incorrecta de la cuchilla puede contribuir al desgaste excesivo, ya que puede provocar que la cuchilla no esté en contacto adecuado con la superficie de las baldosas. Además, esta falta de alineación puede afectar la calidad del corte o la aplicación, resultando en un acabado inconsistente y en la posible necesidad de ajustar o reemplazar la cuchilla con mayor frecuencia.

Máquina Multiroll

Para analizar la máquina Multiroll de la línea 2, se aplicó el mismo enfoque utilizado en las máquinas Kerajet y Rotocolor, comenzando con un análisis de *WordCloud* para identificar palabras clave y seguido de un análisis de árbol de fallas. En el rango más alto (gris, más de 13 repeticiones) aparece solo "piezas", mientras que el rango verde (7 repeticiones) incluye "rodillo" y "Multiroll".

Como se observa en la figura número 25, los rangos intermedios destacan términos como "entrada", "horno" y "rotas" (fucsia, 5-6 repeticiones), junto con "aplicación" y "compensadores" (lila, 4 repeticiones). Finalmente, el rango naranja (2-3 repeticiones) incluye palabras como "atasco", "alarmas" y "salida", proporcionando indicios de problemas recurrentes en la operación de la máquina. Estos resultados permiten un análisis detallado de las causas raíz y posibles mejoras.



Figura 25. Gráfico de Keywords de Multiroll

Fuente: Elaboración Propia

De igual manera, se procedió a realizar un análisis de árbol de fallas para la máquina Multiroll, con el fin de poder llegar a las causas mínimas detrás de las paradas no programadas de dicha máquina, tomando como base principal la presencia de inconformidades en las piezas.

El análisis de la figura 26, que muestra el árbol de fallas, ha detectado dos causas principales del problema principal, que es la detención de la máquina Multiroll, debido a un problema ocasionado por una pieza. Estas dos causas son el atasco de piezas, o el rodillo dañado. De estas dos causas, se han encontrado las siguientes sub-causas:

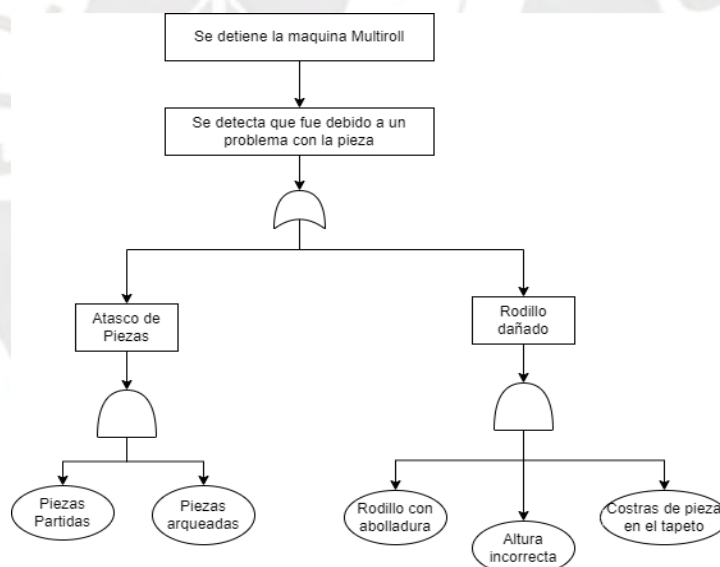


Figura 26. Análisis de árbol de fallas de la Multiroll

Fuente: Elaboración Propia

- **Piezas partidas:** En este caso, hay ocasiones donde las piezas no son correctamente partidas por la máquina *Checkpoint*, o donde las piezas cerámicas, en un proceso previo, resultan en una abolladura/rajadura. Esto ocasiona que las piezas rotas continúen hasta la máquina Multiroll. Cuando las piezas partidas ingresan en la máquina Multiroll, pueden causar bloqueos y dañar otros componentes de la máquina, lo que eventualmente lleva a la parada del equipo.

- **Piezas arqueadas:** Las piezas arqueadas, que no están perfectamente planas, generan un problema al pasar por la Multiroll, ya que no permiten un contacto uniforme con el rodillo. Esto puede derivar en una aplicación inconsistente de esmalte o decorado, afectando la calidad del producto final. Además, las piezas deformadas tienden a moverse de forma irregular en la línea de producción, aumentando el riesgo de atascos y daños en la máquina, lo que provoca paradas frecuentes.
- **Rodillo con abolladura:** Si el rodillo tiene abolladuras, estas generan puntos de presión desiguales en las piezas, lo que compromete tanto la calidad del producto como el funcionamiento continuo de la máquina. En caso de que el rodillo tenga una abolladura, se debe reemplazar de inmediato, para lo que es necesario realizar una parada de máquina.
- **Altura incorrecta:** Una altura incorrecta entre el rodillo y las piezas que pasan por la máquina puede resultar en una aplicación de esmalte o decorado no uniforme. Si el rodillo está demasiado bajo, puede ejercer demasiada presión, dañando las piezas o el rodillo mismo. Si está demasiado alto, la aplicación de esmalte será insuficiente o dispareja. Esta falta de precisión puede generar problemas de calidad y aumentar las paradas de la máquina para realizar ajustes manuales.
- **Costras de pieza en el tapeto:** Las costras (Residuos de material) pueden desprenderse y quedar sobre el tapeto (banda transportadora), generando fricción o atascos en el movimiento de las piezas a lo largo de la línea de producción. La acumulación de estas costras no solo afecta el flujo de las piezas, sino que también puede dañar el tapeto o desalinearse las piezas, lo que eventualmente lleva a paradas de la máquina para realizar limpiezas o ajustes.

Con base en las causas identificadas a través del análisis del árbol de fallas, en el cual se desglosaron los problemas que provocan la parada de las máquinas hasta sus unidades mínimas, se implementará un plan de mejora continua para cada una de las tres máquinas. Se propondrá una solución específica para cada causa detectada, es decir, una mejora por causa, con el objetivo de abordar los problemas de manera efectiva. A continuación, se presentarán las mejoras seleccionadas para cada una de las causas encontradas, para cada máquina.

Máquina Kerajet

Se han elaborado propuestas de mejora enfocada en cada una de las sub-causas del problema, esperando que estas mejoras sirvan como una solución directa a la mínima unidad del problema, y al atenderlos directamente, se cause un impacto positivo en el tiempo de producción de la máquina. Las mejoras enfocadas elegidas son las siguientes:

- **Reemplazar el cableado actual por cables de alta calidad, diseñados para minimizar interferencias y mejorar el aislamiento:** Esta mejora busca reducir la posibilidad de fallos en la transmisión de datos y mejorar la seguridad de la máquina. Los cables de alta calidad están diseñados para minimizar interferencias electromagnéticas, lo que resulta fundamental en un entorno industrial donde los equipos generan ruido eléctrico. Además, estos cables tienen mejor aislamiento, lo que protege el sistema eléctrico de condiciones adversas y prolonga su vida útil.
- **Instalar un Switch de red dedicado para la máquina Kerajet, minimizando la interferencia de otros equipos en la comunicación:** Al integrar un Switch de red dedicado, se optimizará la comunicación de la Kerajet, evitando que su sistema de red se sobrecargue o interfiera con otros equipos en la línea de producción. Esto permitirá una conexión más estable y continua, mejorando la coordinación entre la computadora principal, los PLC, y cada una de las impresoras. Esto permite reducir la probabilidad de errores de comunicación que puedan provocar paradas no planificadas.
- **Implementar un sistema de comunicación industrial que garantice mayor estabilidad y velocidad:** Este sistema proporcionará a la máquina Kerajet una red de comunicación más robusta, con un alto nivel de estabilidad y velocidad. Un sistema de comunicación industrial diseñado específicamente para el entorno de la planta asegura que la máquina pueda operar a su máxima capacidad, mejorando la sincronización y reduciendo los tiempos de respuesta, y evitando desconexiones que pueden provocar una parada de máquina.
- **Instalar cubiertas protectoras en los sensores para minimizar la acumulación de polvo y facilitar su limpieza:** Los sensores de posición debajo de cada impresora son esenciales para garantizar la calidad del proceso de decorado. Instalar cubiertas protectoras ayudará a prevenir la acumulación de polvo y otros residuos que podrían afectar su precisión. Además, estas cubiertas facilitarán la limpieza y el mantenimiento de los sensores, evitando paradas relacionadas a esta problemática.

- **Adquirir y montar soportes ajustables para los sensores que faciliten su alineación precisa:** Para evitar lecturas incorrectas de posición durante la impresión sobre las baldosas, se implementarán nuevos soportes más resistentes. Estos soportes garantizarán que los sensores permanezcan firmes en su lugar, eliminando la posibilidad de que la fricción causada por las baldosas u otros factores desalineen los sensores, lo que provocaría la necesidad de detener la línea para realizar ajustes. Además, los nuevos soportes serán fácilmente ajustables, lo que permitirá un reemplazo rápido de los sensores actuales por versiones mejoradas en el futuro, facilitando posibles actualizaciones
- **Implementar un sistema de enfriamiento para la pantalla de control, asegurando temperaturas adecuadas:** Sin embargo, en un ambiente de producción, es susceptible al sobrecalentamiento, lo que puede provocar fallos o paradas inesperadas. Con un sistema de enfriamiento, se mantendrán temperaturas adecuadas que permitan un funcionamiento continuo y estable de la pantalla, reduciendo la posibilidad de bloqueos y paradas relacionadas a esta problemática.
- **Adoptar un sistema de reinicio rápido, que permita el reinicio del software de manera automática ante un congelamiento:** En la mayoría de los casos en que se detectó un bloqueo de la pantalla principal de la máquina Kerajet, el supervisor de producción describió el reinicio manual como la solución más común, lo que requiere la intervención de un operario. Con un sistema de reinicio rápido, el equipo podrá identificar de inmediato cuando ocurra un congelamiento, basado en los errores más frecuentes, y ejecutar un reinicio automático de la computadora, eliminando así la necesidad de intervención manual.

Máquina Rotocolor

Para la máquina Rotocolor, se han elaborado, de igual manera, propuestas de mejora que ataquen directamente una de las sub-causas detectadas en el diagrama del árbol de fallas. A continuación, se presentan las mejoras enfocadas propuestas.

- **Instalar un sistema de calefacción cerca para mantener la temperatura óptima del rodillo:** El sistema de calefacción permitirá al rodillo de la máquina Rotocolor permanecer a una temperatura constante para la aplicación del esmalte, evitando la generación de grumos debido al frío. Al mismo tiempo, la aplicación de calor en el rodillo evitará que el material se acumule en la

superficie, lo que podría causar paradas inesperadas debido a una mala aplicación del rodillo.

- **Implementar un pequeño motor de modo que el rodillo siempre se mantenga en movimiento:** La instalación de este pequeño motor que mantenga al rodillo en movimiento, previene la acumulación de residuos o materiales en la superficie, evitando la formación de grumos, como también evitando que el material se solidifique debido a la ausencia de movimiento.
- **Añadir un juego de escobillas previo a la entrada al Rotocolor:** Se implementará un sistema de escobillas de doble cepillo, compuesto por dos tipos de cepillos. Primero, se utilizará un conjunto de cepillos circulares giratorios, que permiten una limpieza profunda en áreas específicas de la baldosa, debido a su forma, que proporciona un contacto más intenso en puntos concretos. Luego, se aplicará un cepillo cilíndrico en espiral que ofrece una limpieza uniforme en toda la superficie de la baldosa. Esta limpieza previa evita la acumulación de partículas en el Rotocolor, reduciendo atascos y disminuyendo paradas no planificadas, lo que contribuye a una mayor eficiencia en la producción.
- **Establecer un *Checklist* para la correcta calibración del rodillo:** Se implementará un conjunto de pautas claras para los operarios con el fin de asegurar una calibración uniforme y de alta calidad del rodillo en cada turno. Para mantener un registro adecuado, se dispondrá de un *Checklist* impreso en un sujetapapeles de madera, con un bolígrafo, ubicado junto a la máquina Rotocolor. Cada vez que el operario realice la calibración, deberá anotar su nombre, la fecha y hora, y seguir cada paso del *Checklist*. A medida que complete cada punto, deberá marcar la casilla correspondiente con una “X”. Al final de cada día, el supervisor de mantenimiento recopilará y escaneará todos los *Checklists* para crear un registro digital, garantizando un historial de las calibraciones realizadas.
- **Reemplazar los soportes actuales por soportes más duraderos y modernos:** Los soportes nuevos serán fabricados con materiales de mayor resistencia, lo que prolongará su durabilidad frente a las exigencias del ambiente de producción. Al optar por soportes modernos, se incrementa la estabilidad y

firmeza con la que se sujeta el rodillo, evitando posibles desgastes en el rodillo que ocasionen su desliz, lo cual ocasiona que la altura sea menor, y que las piezas cerámicas no puedan pasar debajo del rodillo, ocasionando la necesidad de parar la línea para reajustar todo.

- **Instalar un sistema de monitoreo que registre los usos de cada cuchilla, e implementar cambios más continuos:** Se instalará un sistema de monitoreo que incluirá un contador automático conectado a un sensor láser, el cual registrará la cantidad de baldosas que pasan por el sistema y mostrará esta información en un *display* digital visible para los operarios. Este sistema contará con dos luces indicadoras: una verde que señala el correcto funcionamiento de la cuchilla y una roja que se activará cuando se supere el límite de uso establecido, junto a un sonido de alerta que indicará la necesidad de cambiar la cuchilla. Además, el rodillo estará equipado con un sensor de presión que monitoreará el estado de la cuchilla y contribuirá a la decisión de cuándo debe ser reemplazada. Al activarse la luz roja, el operario pausará la operación y, siguiendo la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die), realizará el cambio de la cuchilla de manera rápida y eficiente. Posteriormente, reiniciará el contador, permitiendo que el sistema vuelva a contar las baldosas procesadas y garantizando un funcionamiento óptimo. Este sistema no solo optimiza la operación de la máquina Rotocolor, sino que también mejora la calidad del producto final y reduce los costos operativos al minimizar el tiempo de inactividad y los fallos inesperados en la producción.

Máquina Multiroll

Tal como fue efectuado para las dos máquinas previas, se han identificado las posibles mejoras enfocadas en base a los hallazgos del análisis realizado, las cuales son las siguientes:

- **Ajustar los parámetros de la máquina Checkpoint con mayor frecuencia, para asegurar que rompa correctamente todas las piezas:** Es fundamental realizar ajustes regulares en los parámetros de la máquina Checkpoint para garantizar que esta rompa correctamente todas las piezas. Esto evita que piezas quebradas lleguen a la máquina Multiroll, y que los fragmentos se queden pegados en el cuchillo, generando la necesidad de una parada de línea.

- **Ajustar la configuración de la máquina para minimizar el estrés en el rodillo:** Optimizar la configuración de la máquina es esencial para reducir el estrés aplicado sobre el rodillo durante su operación. Un rodillo sometido a un estrés excesivo puede desgastarse prematuramente, y aplicar mucha presión sobre las baldosas, quebrándolas.
- **Cambiar los rodillos actuales por rodillos de un material más resistente:** Sustituir los rodillos actuales por versiones fabricadas con materiales más duraderos proporcionará una mayor resistencia al desgaste y a las condiciones exigentes del proceso de producción. Esto no solo aumentará la vida útil de los rodillos, sino que también garantizará una mayor estabilidad y fiabilidad durante la operación, lo que resultará en una producción más eficiente y menos paradas imprevistas.
- **Implementar un sistema de ajuste automático de la altura del rodillo, en base a un sensor:** Se implementará un sistema automático que ajuste la altura del rodillo en función de los datos proporcionados por el sensor de luz que detecta arcos en las baldosas. Este sistema funcionará de manera similar al que se utilizará en la máquina Rotocolor, garantizando que el rodillo mantenga la distancia adecuada respecto a la superficie de las baldosas. Cuando el sensor identifique una variación en el grosor, enviará señales a un mecanismo motorizado que ajustará automáticamente la altura del rodillo. Este ajuste en tiempo real permitirá una aplicación más precisa y uniforme del material, minimizando el riesgo de daños a las baldosas.
- **Añadir un dispositivo de limpieza previo a la entrada del rodillo, con cabezas de escobillas:** Al igual que con la máquina Rotocolor, se implementará un sistema de limpieza con dos juegos de escobillas. Primero, un juego de escobillas de cepillos rotativos, y segundo, un cepillo cilíndrico en espiral, con el fin de eliminar cualquier suciedad o partícula que haya quedado.

4.1.2.2 Pilar de Mantenimiento Autónomo

El mantenimiento autónomo es un enfoque que busca involucrar a los operarios en el cuidado y la gestión del equipo, garantizando su óptimo funcionamiento y prolongando su vida útil. Los objetivos de un programa de mantenimiento autónomo son:

Tal como se observa en la figura 27, en medida que avanza el tiempo, la condición del activo se deteriora, ocasionando una mayor probabilidad al fallo. Esto es conocido como “Deterioro natural”, y es producto del desgaste gradual y esperado que ocurre de manera progresiva con el paso del tiempo, causado principalmente por factores ambientales, como exposición a humedad, el viento, el óxido, entre otros. Sin embargo, existe otro tipo de deterioro, el “Deterioro Acelerado” que afecta directamente en la vida útil de la falla, pues la vuelve más propensa al tiempo P-F. El deterioro acelerado es aquel inducido de manera artificial en la máquina, usualmente por el personal, los cuales generan averías al omitir detalles, o de manera deliberada. Las averías por omisión de detalles ocurren cuando el personal descuida aspectos importantes del mantenimiento o de la operación de la máquina. Este tipo de acciones, aunque no intencionadas, aceleran el desgaste de los componentes. Por otro lado, las averías deliberadas son aquellas que se producen de forma intencional, ya sea por un uso incorrecto a sabiendas de que puede dañar la máquina, sin considerar las consecuencias a largo plazo.

Si el equipo no se revisa y mantiene regularmente para conservarlo en su estado óptimo, es probable que alguno de sus componentes falle. Una falla en uno de estos componentes obliga al resto a trabajar con mayor esfuerzo para compensar la pérdida, lo que a su vez los acerca al fallo. Este esfuerzo adicional acelera el desgaste de las piezas restantes y reduce la vida útil de la máquina, ya que todas las partes comienzan a operar bajo condiciones inadecuadas. Esto también provoca que el equipo alcance más rápido el tiempo P-F, es decir, el intervalo entre la detección de un problema potencial y la falla completa del equipo, debido a su funcionamiento en malas condiciones

Por esta razón, es fundamental implementar un *Checklist* diario que permita a los operarios revisar el estado de los componentes y de la máquina en general, sin necesidad de ser expertos en mantenimiento. El *Checklist* servirá como una guía de referencia principal, proporcionando a los operarios una lista de puntos específicos a inspeccionar en las máquinas, especialmente aquellos que tienen mayor probabilidad de causar fallas. Estos puntos de revisión estarán basados en criterios establecidos por especialistas, lo que asegura que cada inspección sea significativa y aporte valor al proceso de mantenimiento. Al completar cada tarea del *Checklist*, se fomenta la responsabilidad de los operarios sobre el estado de la maquinaria, contribuyendo a un entorno de trabajo más seguro y eficiente.

Los puntos para revisar en cuestión han sido los siguientes: Pernos y Tuercas, Lubricación, Sistemas de Transmisión, Sistemas Hidráulicos, Sistemas Neumáticos, y

Sistemas eléctricos de las máquinas. A continuación, se presenta, a través de las tablas 15 y 16, un bosquejo de los puntos que los operarios deberán inspeccionar a la hora de realizar la inspección visual. Cada uno de estos puntos será incluido en un Checklist de línea, el cual consistirá en un documento elaborado de 6 páginas, con una página para cada apartado. En cada apartado, se presentará el punto, junto con la opción de responder “Sí” o “No”, en caso según la revisión del operario, el cual permitirá evaluar el estado actual en el que se encuentra la línea.

Tabla 15.Pautas a incluir para implementación de Checklist de M.A - 1

Tiempos de Parada		
Pernos y Tuercas	Lubricación	Sistemas de transmision
Inspeccionar si hay desgaste o defectos visibles en los pernos	Asegurar que cada lubricante este correctamente identificado, y se controle su inventario	Revisar si hay correas desgastadas, con fisuras, deformaciones, o con suciedad de aceite/grasa
Verificar la longitud de los pernos, asegurandose que sea adecuada para la fijación	Revisar que las boquillas esten limpias y libres de obstrucciones	Comprobar si hay correas ausentes o mal colocadas en las poleas
Comprobar la presencia de arandelas en todas las fijaciones	Confirmar que los conductores de lubricante esten protegidos contra el polvo y contaminantes	Verificar si hay correas flojas o estiradas que necesiten ajuste
Revisar el ajuste de pernos y tuercas, asegurando su correcto montamiento	Verificar que los conductos de lubricante esten etiquetados correctamente, y la cantidad a usar	Asegurarse de que las correas multiples esten uniformemente tensadas y sean del mismo tipo
Confirmar si hay pernos o tuercas flojas en la estructura	Asegurar que los indicadores de nivel de aceite esten limpios, y sean facilmente visibles	Verificar si las superficies superiores sobresalen adecuadamente sobre las poleas, y si hay signos de desgaste.
Verificar si falta alguna tuerca o perno en las fijaciones	Comprobar que el nivel de aceite este claramente marcado	Inspecciones si las poleas estan alineadas correctamente para evitar desajustes
Asegurarse que los pernos sobresalgan de las tuercas en almenos 2 a 3 roscas	Inspeccionar que el equipo este libre de fugas de aceite, y no haya obstrucciones en valvulas	Comprobar si hay cadenas estiradas, lo cual podria indicar desgaste en los dientes o cojinetes.
Confirmar si se usan arandelas planas en orificios grandes	Revisar si hay tubos de aceite o grasa dañados, obstruidos o aplastados	Revisar si hay dientes desgastados, dañados o ausentes en lso componentes de transmision
Revisar la utilizacion de arandelas de presión en piezas sujetas a vibración	Asegurarse de que las piezas móviles esten bien lubricadas y sin suciedad acumulada	Comprobar si hay llaves o chavetas flojas o ausentes en los componentes de transmision
Asegurarse de que se usen arandelas iguales en fijaciones similares	Comprobar que los alrededores del equipo esten libres de exceso de lubricante	Verificar que los acoples esten alineados, y no presenten movimientos.
Verificar que los pernos esten insertado desde abajo y que las tuercas sean visibles desde el exterior		Asegurarse de que los engranajes esten bien lubricados, y que la cantidad de lubricante sea la adecuada, ademas de mantener limpia el area
Comprobar que los sensores y mecanismos esten asegurados con almenos dos pernos		Identificar cualquier ruido o vibracion inusual en el sistema de transmision

Elaboración Propia

Tabla 16.Pautas a incluir para implementación de Checklist de M.A - 2

Tiempos de Parada		
Sistemas Hidraulicos	Sistemas Neumaticos	Sistemas Electricos
Comprobar que el fluido hidraulico este a la temperatura adecuada	Verificar que las presiones de los sistemas neumaticos esten ajustadas al valor correcto, y los rangos correctamente indicados	Verificar que Iso tableros de distribución y paneles de control esten limpios, organizados y sigan los principios 5S.
Asegurarse que los filtros de aire y succión esten limpios, sin obstrucciones	Inspeccionar si hay fugas de aire comprimido en los cilindros neumaticos y válvulas solenoides	Asegurarse que no haya objetos extraños o materiales inflamables dentro de los tableros de control
Verificar que las presiones hidraulicas esten dentro de los rangos operativos correctos y bien indicados	Asegurarse de que todos los cilindros neumaticos y válvulas solenoides esten bien sujetos, y no presente movimientos sueltos	Comprobar que los cables dentro de los paneles de control esten en buen estado, sin estar enredados ni tensos
Revisar si hay fugas de fluido o agua en las tuberias o enfriadores de fluido	Revisar si hay arreglos temporales o inadecuados, como el uso de cinta adhesiva	Inspeccionar si hay algun instrumento roto o lámparas de aviso que no funcionen correctamente
Asegurarse que los mecanismos hidraulicos esten bien asegurados, sin fijaciones temporales	Verificar el estado de los pistones para asegurar que no esten desgastados o dañados	Comprobar si hay orificios no utilizados y que los paneles sean resistentes al agua y polvo.
Verificar que los mecanismos hidraulicos operen sin perdida de velocidad ni problemas de alimentación	Identificar si hay ruidos anormales o sobrecalentamiento en las válvulas solenoides	Asegurarse qde que los motores esten libres de sobrecalentamiento,vibraciones y ruidos anormales
Asegurarse que todas las tuberias y mangueras esten bien sujetas para evitar vibraciones	Comprobar si hay puntos en las tuberias o mangueras neumaticas que acumulen fluidos	Revisar que los ventiladores y aletas de enfriamiento de los motores esten limpios y en buen estado.
Inspeccionar si hay mangueras con grietas o daños y verificar la ausencia de fugas de fluido	Verificar que todas las tuberias y mangueras esten bien fijadas para evitar movimientos indeseados	Inspeccionar que los sensores fotoeléctricos y de proximidad esten lbires de polvo y bien sujetos
Confirmar que todas las valvulas del sistema esten funcionando correctamente, y que sea facil identificar si estan abiertas o cerradas	Revisar si hay fugas de aire, y si alguna manguera presenta fisuras o daños visibles	Comprobar que los conmutadores manuales esten funcionando adecuadamente
	Confirmar que todas las valvulas neumaticas funcionen correctamente, y sea facil identificar si estan abiertas o cerradas	Verificar que no haya cables sueltos o colgando de manera insegura

Elaboración Propia






Paso 2: Ejecución de la Limpieza Diaria

Una problemática común en las fábricas de procesos industriales es la generación de desperdicios como polvo, suciedad y otros contaminantes que son liberados al ambiente. Este desafío también se presenta en la empresa en cuestión, donde varios procesos contribuyen a la contaminación ambiental. Entre estos, destacan los procesos de molienda, que, aunque se realizan en un área separada, generan residuos de pequeñas partículas de arcilla. Asimismo, el proceso de horneado produce emisiones de CO₂ y cenizas, contribuyendo a la contaminación del entorno. Además, la ubicación de la planta en Lurín, una zona rodeada de arena, agrava la

situación al facilitar la acumulación de partículas en las instalaciones. Estos factores combinados incrementan la acumulación de suciedad en las máquinas, razón por la cual es fundamental realizar una limpieza.

Una falta de correcta limpieza puede tener gran cantidad de efectos perjudiciales en las máquinas. Entre los problemas más serios asociados a una limpieza inadecuada, tenemos fallos en las máquinas por acumulación de suciedad y partículas extrañas, defectos de calidad por contaminación de partículas indeseadas, deterioro acelerado por acumulación de polvo y pérdidas de velocidad por la suciedad que incrementa la resistencia por fricción en los componentes de la máquina. Con esto en mente, se implementará un nuevo plan de limpieza diaria, el cual será ejecutado por los operarios de manera constante, antes de iniciar cada turno. Como primer paso, la tabla 17 hace referencia a las herramientas y equipos de protección personal (EPP) que los operarios requerirán.

Tabla 17. Lista de EPP's necesarios para la limpieza

Equipo de Seguridad	Foto	Descripción
Mameluco Descartable		Los operarios deben usar un mameluco descartable que cubra todo el cuerpo, protegiendo su piel de sustancias contaminantes y evitando que partículas adheridas a su ropa se liberen al ambiente. Esto es crucial, debido a que la fábrica opera en una zona desértica. Esto ayuda a mantener la limpieza del entorno y de las máquinas. Los mamelucos se desechan al final de la jornada, y tienen un costo accesible.
Mascarilla con Filtrante		Los operarios deben usar mascarillas de alta filtración durante la limpieza para protegerse de partículas finas, como polvo de cerámica y aerosoles de productos químicos. Estas mascarillas capturan más del 95% de las partículas en el aire, evitando riesgos para la salud respiratoria de los operarios en el proceso de Limpieza.
Lentes de protección		Los operarios deben usar lentes de protección durante la limpieza para evitar lesiones o irritaciones causadas por partículas volátiles, polvo fino y salpicaduras de productos de limpieza, brindando una barrera efectiva para proteger los ojos.
Guantes de latex descartables		Los operarios deben usar guantes de látex desechables durante la limpieza para proteger sus manos de suciedad, residuos y productos químicos, evitando irritaciones. Al ser desechables, aseguran una higiene óptima y previenen la contaminación cruzada entre áreas de la máquina.
Cinturón para herramientas de limpieza		El cinturón con múltiples compartimentos rotulados permite a los operarios llevar herramientas y productos de limpieza con acceso rápido, eliminando traslados innecesarios y reduciendo la fatiga al mantener las manos libres. Este práctico accesorio mejora significativamente la eficiencia y calidad del proceso de limpieza.

Es importante poder establecer de manera previa aquellos productos y herramientas que serán necesarios para la limpieza, para poder asegurar su continua disponibilidad en el almacén de la empresa, y en los cinturones de limpieza de los operarios. Al disponer de un cinturón bien equipado, los operarios pueden realizar su tarea de limpieza de manera más ágil, más segura, y más profunda, pues pueden ejecutar una limpieza más exhaustiva. A continuación, se detalla una selección de herramientas y productos de limpieza que serán indispensables para los operarios durante el proceso.

Herramientas

- **Cepillo de limpieza de interiores, fino de Cerdas Suaves:** Cepillo fino y delgado, ideal para limpiar superficies delicadas por su interior, debido a su forma cilíndrica, tales como tubos u orificios, sin generar rayones.
- **Cepillo de Alambre:** Cepillo con cabeza circular, utilizado para limpiar y retirar el polvo de superficies más resistentes en las máquinas, ayudando a eliminar óxido, grasa endurecida y residuos incrustados en componentes metálicos.
- **Paños de Microfibra:** Paños que permiten la limpieza de superficies, removiendo tanto polvo como líquido debido a su capacidad de absorción. La principal ventaja de la microfibra es que no emana pelusas, por lo que no contamina a la hora de limpiar.
- **Pistola Aspiradora Portátil:** Facilita la limpieza de polvo y otras partículas, con el beneficio que estas son absorbidas dentro de la aspiradora, y no son liberadas al ambiente, por lo que se elimina la posibilidad que estas vuelvan a contaminar la máquina.
- **Llaves ajustables:** Permiten apretar o aflojar pernos y tuercas, siendo útiles para realizar pequeños ajustes durante la limpieza y asegurarse de que no haya componentes sueltos.
- **Destornillador:** Fundamental para desmontar y acceder a cubiertas de protección, paneles o piezas que requieren una limpieza interna. Al mismo tiempo, sirven para ajustar algún tornillo suelto, sin necesidad de escalar hasta el área de mantenimiento.

Productos de limpieza

- **Aerosol de Aire comprimido:** Ideal para limpiar áreas de difícil acceso, como ranuras, conectores y componentes electrónicos, removiendo el polvo sin dañar las partes sensibles.

- **Desengrasante en Aerosol (WD-40):** Eficaz para eliminar la grasa y el aceite acumulado en las piezas móviles y superficies metálicas, facilitando el mantenimiento de un área de trabajo limpia.
- **Limpiador multiusos:** Un producto versátil que permite limpiar de manera rápida y eficiente diversas superficies de la maquinaria, como paneles y carcasas.
- **Limpiador de vidrio:** Específico para limpiar superficies de vidrio o acrílico, dejándolas sin marcas ni residuos, ideal para las cabinas de control o paneles de visualización.

Tanto las herramientas, los productos y los equipos mencionados previamente estarán organizados en una estación de limpieza móvil, la cual tendrá la forma de un estante con ruedas, similar a un carrito de limpieza, como se observa en la figura 28. Esta estación permitirá a los operarios acceder fácilmente a su equipo de protección personal (EPP), así como a los productos y herramientas necesarias para realizar su trabajo. Al inicio de cada turno, los operarios podrán recoger su cinturón de limpieza, equiparlo con las herramientas adecuadas y llenar los compartimentos con los productos de limpieza necesarios, asegurando que tengan a mano todo lo requerido para una limpieza eficiente. Es responsabilidad de cada operario, al finalizar su turno, devolver y ordenar los cinturones junto con todas las herramientas y productos utilizados, asegurándose de que el equipo esté completo y listo para el siguiente turno. De esta manera, se garantiza que los operarios del próximo turno puedan comenzar su labor sin demoras, enfocándose directamente en la limpieza, lo que contribuye a minimizar el tiempo de preparación y a mantener una operación fluida y continua en la planta.



Figura 28. Estación de Limpieza Móvil

Fuente: Remar Soluciones (2024)

Para cubrir eficientemente todas las máquinas de la línea de decorado y esmaltado, se aprovechará la presencia de tres operarios asignados a esta línea, dividiendo la carga de trabajo de manera equitativa para asegurar que cada máquina reciba atención en el menor tiempo posible. Para ello, se han creado tres grupos de máquinas, y cada operario será responsable de uno de estos grupos. Los operarios rotarán de forma regular entre los grupos, de modo que, si un operario se encarga del Grupo 1 un día, al siguiente asumirá las tareas del Grupo 2 y luego las del Grupo 3, repitiendo el ciclo de manera continua.

Para facilitar esta organización, los grupos estarán representados por colores asignados y la información se mostrará en un tablero Kanban. De esta forma, los operarios podrán

Tabla 18. Tabla de División de máquinas para la Limpieza

consultar fácilmente a qué color están asignados cada día y qué máquinas corresponden a cada grupo. Esto no solo garantiza una mejor coordinación en la asignación de tareas, sino que también asegura que cada operario conozca con claridad su responsabilidad diaria. Los grupos asignados por colores y su visualización en el tablero Kanban permiten una gestión más dinámica y efectiva de las actividades de mantenimiento. Los operadores miembros del comité TPM deben revisar que se cumpla la regla de los grupos y responder dudas de ser el caso. La tabla 18 muestra los grupos en los que han sido divididas las máquinas:

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Escobillas	Rebarbador	Checkpoint
Sopladores	Virador de Linea	Martillo
Cabina de Agua	Rotocolor	Multiroll
Campana	Kerajet	Cabina Airless
Vibrotamiz	Sopladores	Cabina de Discos
Vasca		

Elaboración Propia

Para facilitar la diferenciación, cada grupo estará diferenciado por un color, siendo el grupo 1 el color rosado, el grupo 2 el color rojo, y el grupo 3 el color naranja. Estos están pegados en el tablero Kanban del área de decorado y esmaltado. A la par, al costado del rótulo de cada maquinaria, se agrega un pequeño cartel con el color del grupo al que pertenece dicha máquina. Por ejemplo, para la máquina Rotocolor, al costado de su nombre, se añadirá un pequeño signo rojo.

Junto al tablero, también se procederá con la elaboración de una infografía, la cual se colocará encima del mismo tablero Kanban, con las pautas que cada operario debe seguir al realizar la limpieza, como parte del mantenimiento autónomo. Esta infografía servirá como guía visual para asegurar que cada paso se ejecute correctamente. Además, contaremos con el

apoyo del área de mantenimiento y de los supervisores de planta, quienes tendrán la responsabilidad de verificar que los operarios cumplan con las pautas establecidas, evaluando el cumplimiento de cada paso mediante indicadores específicos

Paso 3: Implementar un Sistema de Tarjetas Naranjas

Parte del proceso de mantenimiento autónomo, incluye también poder automatizar la detección de errores. Actualmente, cuando un operario detecta un problema en una máquina, el flujo de trabajo establecido consiste en que el operario contacta al área de mantenimiento, y el equipo de mantenimiento se traslada a la máquina en cuestión. Una vez allí, el operario describe el problema utilizando sus propios términos y sin seguir un formato estandarizado, lo cual puede dificultar la comprensión del problema. A partir de esta explicación, el técnico de mantenimiento inicia su propia investigación para identificar la causa del fallo, recopilando toda la información y evidencias necesarias para su diagnóstico.

Por ello, es fundamental que los operarios no solo sean hábiles para detectar las anomalías, sino que también puedan comunicarlas de manera precisa y comprensible. La detección temprana de problemas, acompañada de una comunicación detallada antes de que el equipo de mantenimiento llegue, es crucial para agilizar el trabajo de los técnicos, reduciendo así el tiempo total de mantenimiento. En este contexto, se implementará la idea propuesta por Suzuki (1994), el cual propone un sistema de identificación de anomalías mediante el uso de tarjetas de colores. La principal ventaja de esta técnica es que las tarjetas se colocan directamente en el área específica de la máquina donde se detectó la falla, junto con una breve descripción de los sucesos y datos adicionales relevantes, lo que facilita un diagnóstico más rápido por parte del técnico de mantenimiento.

Para implementar este sistema, se utilizarán tarjetas de naranja intenso, las cuales los operarios emplearán para señalar las partes de la máquina que presentan desperfectos. Gracias a su alta visibilidad, estas tarjetas facilitarán la localización rápida de los problemas, mejorando la comunicación entre operarios y técnicos y permitiendo al equipo de mantenimiento priorizar sus acciones de forma más efectiva.

A continuación, la figura 29 presenta un bosquejo de las etiquetas a utilizar:

TPM - Mant. Autónomo

Equipo/Modelo _____
 Código _____
 Fecha _____
 Hora de Detección ____:____
 Detectado por _____

DESCRIPCIÓN _____

POSIBLE CAUSA _____

ACCIONES TOMADAS (si aplica) _____

Acción Inmediata [] Si [] No
Prioridad [] Alta [] Media [] Baja

Firma del Operario Firma del Técnico

Figura 29. Prototipo de las etiquetas a implementar

Elaboración Propia

Paso 4: Instrucción sobre Condiciones Básicas de Mantenimiento

La integración del área de mantenimiento en el proceso de implementación del mantenimiento autónomo es clave para asegurar que los operarios comprendan las especificaciones y parámetros de cada equipo. Esto facilita la correcta identificación de anomalías por parte de los operarios y les permite actuar de manera adecuada y oportuna. Además, una colaboración estrecha permite aplicar de manera efectiva los pilares del TPM (Mantenimiento Productivo Total), particularmente el mantenimiento autónomo, que busca no solo mejorar la durabilidad de las máquinas, sino también reducir la carga de trabajo del área de mantenimiento, permitiéndoles enfocarse en tareas más complejas y estratégicas.

El desarrollo de un plan de instrucción sobre las condiciones básicas de mantenimiento debe ser un esfuerzo conjunto, en el cual el conocimiento técnico y especializado del equipo de mantenimiento se alinee con la experiencia práctica de los operarios, donde los participantes del comité de TPM cumplirán un rol fundamental. Por ello, se habilitará una sección especial en el tablero Kanban destinada exclusivamente al área de Mantenimiento. Esta área servirá para comunicar de manera visual las consideraciones clave que los operarios deben tener en cuenta durante el mantenimiento de las máquinas. Además, permitirá al equipo

de mantenimiento compartir su conocimiento con los operarios de forma accesible y clara. En este espacio, se espera que el área de mantenimiento destaque las principales consideraciones para los operarios, abarcando los siguientes aspectos de la maquinaria:

- Señales de Alerta: Indicadores de que la máquina no está funcionando correctamente. Pueden ser ruidos inusuales, variaciones en el rendimiento o desgaste visible en componentes clave.
- Consideraciones en la Limpieza: Pautas específicas que deben seguirse para mantener la máquina libre de polvo, residuos o acumulaciones que puedan afectar su funcionamiento y eficiencia.
- Parámetros/Condiciones para operación: Valores óptimos de funcionamiento de la máquina, como velocidad, presión, temperatura, entre otros, que deben ser monitoreados para asegurar su rendimiento adecuado y prolongar su vida útil.

Con dicha información, se diseñará un tablero Kanban utilizando *post-its* de diferentes colores para identificar fácilmente el tipo de recomendación que corresponde a cada máquina. El color naranja será utilizado para las *señales de alerta*, ya que, al igual que el rojo, el naranja destaca y llama la atención, lo que facilita que los operarios detecten de inmediato cualquier problema o situación urgente. Para los parámetros de operación, se optará por el color verde, asociado con el buen funcionamiento y las condiciones óptimas, lo cual ayuda a que los operarios identifiquen rápidamente los parámetros ideales de operación. Finalmente, las *consideraciones en la limpieza* estarán representadas con *post-it* de color celeste o azul, ya que este tono se relaciona con la limpieza, el orden y la calma, lo que resulta adecuado para las indicaciones de higiene y mantenimiento diario. A continuación, la figura 30 muestra una visualización de cómo quedaría el tablero, para una máquina:



Figura 30. Esbozo del Tablero Kanban a aplicar

Elaboración Propia

4.1.2.3 Pilar de Mantenimiento Planificado

Para elaborar nuestro plan de Mantenimiento Planificado, trabajaremos con la misma base de datos trabajada previamente, en la cual los supervisores incluyen la información sobre cada una de las paradas de máquina detectadas en la línea. Esta información aporta al análisis del estado actual de las máquinas, particularmente a través del número de paradas inesperadas asociadas con mantenimientos correctivos debido a fallas. A partir de estos datos, podemos extraer detalles clave, como las fechas de las fallas y los mantenimientos correctivos, la máquina y la línea de producción afectada, así como el tiempo empleado en cada reparación. Con esta información, se calcularán tres indicadores fundamentales: la frecuencia de fallas, el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) y el MTTR (Tiempo Medio de Reparación). A continuación, se explicará un poco de cada uno:

- **Frecuencia de fallas:** Es el número de veces que una máquina falla en un periodo de tiempo específico. Este indicador permite cuantificar la cantidad de fallas y, por lo tanto, la confiabilidad de un equipo en términos de su funcionamiento continuo. Se obtiene dividiendo el número total de fallas de una máquina por el tiempo total en el que fue evaluada.
- **MTBF:** Mide el tiempo promedio que una máquina opera correctamente entre una falla y la siguiente. Es un indicador de confiabilidad, ya que refleja cuánto tiempo se espera que una máquina funcione sin interrupciones. Un MTBF alto indica que la máquina es confiable y opera durante largos periodos sin necesidad de intervención. Se calcula dividiendo el tiempo total de operación de la máquina entre el número de fallas en ese periodo.
- **MTTR:** Es el tiempo promedio que se necesita para reparar una máquina después de una falla. Este indicador mide la rapidez y eficiencia con la que se puede restaurar el equipo a un estado operativo. Un MTTR bajo es ideal, ya que significa que las reparaciones son rápidas y que el tiempo de inactividad es mínimo. Se obtiene dividiendo el tiempo total dedicado a reparaciones por el número de fallas ocurridas.

Estos indicadores son fundamentales para evaluar la criticidad de cada máquina y definir las acciones necesarias para implementar un plan de mantenimiento planificado eficaz. Utilizando la versión más reciente de la base de datos de detalles de parada de línea, la cual abarca el periodo del 01/05/2024 al 10/09/2024, se calcularon los siguientes indicadores para las máquinas analizadas, los cuales se presentan en la tabla 19.

Tabla 19. Análisis de Fiabilidad de Equipos para la línea de Decorado y Esmaltado

Maquina	Frecuencia de Fallas(Anual)	MTTR(Mean time to Repair) En Minutos	MTBF(Mean time between Failures) En Minutos
Escobillas	0	0	0
Sopladores	0	0	0
Cabina de agua	2.77	22	130
Campana	2.77	4	131
Vibrotamiz	0	0	0
Vasca	0	0	0
Rebarbador	27.64	96.3	13.78
Virador de Linea	13.84	27.2	28.25
Rotocolor	27.64	20.8	7.33
Kerajet	160.36	60.53	2.32
Checkpoint	13.84	56.5	5
Martillo	0	0	0
Multiroll	102.3	37.55	3.67
Cabina Airless	2.77	15	40
Cabina de Discos	8.28	13	17

Elaboración Propia

Observando los valores obtenidos en la tabla 19, podemos formar 3 grupos de máquinas, para nuestro mantenimiento planificado:

1. Máquinas de Alta Prioridad

Las máquinas que hemos detectado se encuentran en un estado más crítico, son las máquinas Kerajet y Multiroll, debido a sus altos números de frecuencia de fallas, y su bajo MTBF, lo que nos indica que la máquina tiene una alta frecuencia de fallas, y que su tiempo de operación sin una parada inesperada es muy corto. Estos hallazgos van de la mano con el análisis ejecutado en la sección de mejora enfocada, donde también se pudo ver que estas eran dos de las máquinas en situación más crítica. Debido a esto, se implementará un plan que combina el mantenimiento Preventivo, el mantenimiento Predictivo, como también analiza el tiempo MTTR para buscar optimizar los tiempos de reparación.

Se realizará un mantenimiento preventivo semanal en las máquinas, a cargo del área de mantenimiento, con el objetivo de evaluar su estado antes de iniciar la operación. Este mantenimiento se llevará a cabo preferentemente al inicio del turno, mientras los operarios están limpiando las máquinas, para aprovechar el tiempo muerto de manera eficiente.

El mantenimiento predictivo será continuo, implementando sensores de vibración e infrarrojos de temperatura o termostatos. Estos dispositivos permitirán detectar vibraciones

inusuales o variaciones súbitas de temperatura, como el calentamiento excesivo de un componente fuera de los límites aceptables. Los sensores estarán conectados al panel de control del área de mantenimiento y, cuando se detecte un comportamiento anormal, generarán una alerta en pantalla para que el equipo de mantenimiento actúe de inmediato.

Por último, para reducir el MTTR (Tiempo Medio de Reparación), se implementará un sistema similar al método del Supermercado Kanban, con un pequeño almacén local que contenga los repuestos más comunes y propensos a fallar. Además, se alentará a los técnicos de mantenimiento a utilizar sus dispositivos móviles para grabarse a sí mismos mientras realizan las reparaciones, utilizando sus dispositivos móviles. Estos videos podrán revisarse posteriormente con el supervisor para identificar posibles áreas de mejora y actividades en las que el técnico pueda agilizar su trabajo, con el fin de reducir los tiempos de reparación.

2.Máquinas de Moderada Prioridad

Aquí están las máquinas que hemos detectado se encuentran en un estado moderado, las cuales incluyen las máquinas Rebarbador, Rotocolor, Virador de Línea, Checkpoint y la Cabina de Discos. Estas máquinas tienen una frecuencia de fallas moderada, es decir, mucho más baja que las dos máquinas críticas, pero sigue siendo un número preocupante, y que puede ser reducido, además de tener un MTBF considerable

Para estas máquinas, se implementará un mantenimiento preventivo cada dos semanas, enfocado en la revisión de componentes y limpieza. Además, el mantenimiento predictivo incluirá inspecciones mensuales del estado de los motores y partes móviles, combinando inspecciones visuales y monitoreo de vibración. También se realizarán pruebas de funcionamiento y ajustes de calibración en caso de detectar ligeros desgastes o desviaciones.

Para optimizar el MTTR (Tiempo Medio de Reparación), se evaluarán los procedimientos de reparación y se garantizará que el equipo esté capacitado para resolver rápidamente fallas menores. Asimismo, se realizarán simulaciones de intervención para reducir el tiempo necesario en reparaciones frecuentes.

3.Máquinas de Baja Prioridad

Las máquinas de baja prioridad en esta ocasión son la Cabina de Agua, la Campana, y la Cabina *Airless*, debido a que tienen una frecuencia de fallas anuales muy bajas, y un MTBF bastante elevado, lo que significa que pueden operar largos periodos de tiempo sin una parada.

A pesar de esto, se proponen algunas ideas adicionales que permitirán mantener estas en condiciones óptimas, gracias al mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo será de manera mensual, el cual incluirá inspecciones y limpieza para poder asegurar su mantenimiento en condiciones óptimas. El mantenimiento predictivo consistirá en monitoreos básicos visuales y de temperatura en cada inspección mensual para identificar posibles signos de desgaste. Para optimizar el MTTR (Tiempo Medio de Reparación), se mantendrán procedimientos de reparación simples y se verificará la disponibilidad de herramientas específicas necesarias para intervenciones rápidas.

Teniendo en cuenta estos puntos, se ha elaborado la tabla 20, que incluye el plan de mantenimiento planificado.

Tabla 20. Programa de mantenimiento de equipos según Prioridad

Maquina	Prioridad	Frecuencia de Mant. Preventivo	Frecuencia de Mant. Predictivo	Frecuencia de la revisión del MTTR
Kerajet	Alta	Semanal	Continuo	Semanal
Multiroll	Alta	Semanal	Continuo	Semanal
Rebarbador	Moderada	Cada 2 semanas	Mensual	Mensual
Rotocolor	Moderada	Cada 2 semanas	Mensual	Mensual
Virador de Línea	Moderada	Cada 2 semanas	Mensual	Mensual
Checkpoint	Moderada	Cada 2 semanas	Mensual	Mensual
Cabina de Discos	Moderada	Cada 2 semanas	Mensual	Mensual
Cabina de agua	Baja	Mensual	Mensual	Semestral
Campana	Baja	Mensual	Mensual	Semestral
Cabina Airless	Baja	Mensual	Mensual	Semestral

Elaboración Propia

Al mismo tiempo, se aprovecharán los contactos que la empresa mantiene con técnicos extranjeros para integrarlos en nuestro plan de mantenimiento predictivo. Un ejemplo destacado es el equipo de técnicos de la empresa española Kerajet, especialista en impresoras cerámicas con más de 25 años en este sector. Dado que la mayoría de estos técnicos están ubicados en España, la empresa tiene la posibilidad de solicitarlos como parte del plan de servicio técnico, asegurando así una mayor calidad en los mantenimientos.

Asimismo, la empresa ha contado en varias ocasiones con el apoyo de técnicos brasileños, quienes han acudido a sus instalaciones para realizar mantenimientos en la máquina Multiroll y en la línea de producción general. Con el fin de optimizar el rendimiento de nuestras máquinas críticas, aprovecharemos la experiencia de estos técnicos extranjeros, orientando sus intervenciones hacia la revisión y mantenimiento de las máquinas clave y la línea en general.

Debido a la alta frecuencia de fallas de la impresora Kerajet (160.36 fallas anuales) y su bajo MTBF, se recomienda una revisión trimestral por parte de un técnico certificado de Kerajet. Este intervalo permitirá realizar ajustes exhaustivos y abordar problemas recurrentes, además de dar seguimiento a las mejoras implementadas, evaluando si estas se han mantenido en el tiempo y si el equipo de la empresa sigue las recomendaciones técnicas adecuadamente. La frecuencia de revisión también permitirá al técnico evaluar la evolución de las mejoras y ajustar las recomendaciones en función de los resultados observados.

En el caso de la máquina Multiroll, que tiene una menor frecuencia de fallas, se recomienda un mantenimiento semestral. Esta periodicidad permitirá resolver problemas antes de que afecten la disponibilidad general de la Multiroll, minimizando el impacto en el calendario de producción. Durante estas visitas semestrales, el técnico también podrá realizar una revisión general de toda la línea de producción, dedicando aproximadamente una semana a la Multiroll y otra semana a la línea en su conjunto. Este enfoque equilibrado optimizará el tiempo del técnico extranjero y contribuirá a una mejora integral del rendimiento de la línea y de los equipos clave

Finalmente, se puede observar en la tabla 21 como quedaría el plan de mantenimiento para las máquinas de alta prioridad, en la tabla 22, el plan para máquinas de moderada prioridad, y en

Tabla 21. Plan de mantenimiento para máquinas de alta prioridad

Máquina	Enero	Febrero	Marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Kerajet	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal
	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo
	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales
		-Mantenimiento Planificado Trimestral, por Técnico de Kerajet				-Mantenimiento Planificado Trimestral, por Técnico de Kerajet			-Mantenimiento Planificado Trimestral, por Técnico de Kerajet			-Mantenimiento Planificado Trimestral, por Técnico de Kerajet
Multiroll	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal	-4 Mantenimientos preventivos, semanal
	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo	-Mantenimiento predictivo continuo
	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales	-4 Revisiones del MTTR, semanales
				-Mantenimiento Planificado Semestral, por Técnico de Multiroll					-Mantenimiento Planificado Semestral, por Técnico de Multiroll			

Elaboración Propia

4.2 Aplicación de la Mejora: SMED

Se presenta la aplicación de la metodología SMED, seleccionada como propuesta de mejora para reducir los tiempos de preparación y cambio en el lavado de campana.

4.2.1 Situación Actual

Para el SMED, se toma una actividad que se realiza una vez por turno, llamada lavado de campana. Esta se realiza cada vez que se va a cambiar de producto o si hay algún defecto ocasionado por la aplicación de esmalte. Básicamente es para limpiar la campana y así poder quitar impurezas que pudieran estar acumuladas. Al ser necesario que pare la línea, es importante aplicar SMED para poder reducir los tiempos de parada.

4.2.2 Proyecto de mejora

La aplicación del proyecto de mejora consistirá en utilizar la metodología SMED para poder aumentar la efectividad de los procesos donde participan los operarios. Para esto, se dividirá el proceso en tareas internas y externas, para poder encontrar cuales pueden realizarle a la par. Al mismo tiempo, se distribuirá la carga equitativamente entre los operarios, para que los 3 puedan usar de manera mas eficiente su tiempo, y se estandarizaran los procesos elegidos para poder aumentar la afinidad y tiempos de los operarios.

4.2.2.1 Etapa 1: Observar y comprender el proceso

El primer paso es entender detalladamente el proceso de lavado de la campana en la sección de esmaltado y decorado. Actualmente, el lavado toma casi 30 minutos y requiere detener la línea de producción. Esto afecta la eficiencia general del proceso, por lo que es clave estudiar qué etapas forman parte de este procedimiento y qué factores inciden en el tiempo total de la operación.

4.2.2.2 Etapa 2: Identificar y separar operaciones

Se deberá clasificar todas las actividades observadas en operaciones internas y externas. Las operaciones internas son aquellas que requieren que la máquina esté detenida, mientras que las operaciones externas son las que pueden llevarse a cabo con la máquina en funcionamiento. El siguiente paso consiste en separar físicamente estas operaciones. La tabla 24 muestra cómo se realizó esta separación, en la cual, de las 24 actividades en total, 19 son internas y toman 28,3 minutos; mientras que 5 son externas y toman 6,5 minutos.

Tabla 24. Toma de tiempos actual del Lavado de Campana

Ítem	Actividad	Tiempo (min) - Interna	Tiempo (min) - Externa
1	Parar la línea y cortar alimentación de esmalte	0	
2	Retirar cables del tomacorriente (vasca y Vibro tamiz)	1	
3	Traer escalera y subir		1
4	Desconectar la manguera de la campana	1,3	
5	Quitar corona y filtro	2,5	
6	Retirar vasca sucia	0,8	
7	Preparar la manguera con agua		1,5
8	Conectar la manguera con agua a la campana, para que se limpie por dentro	2,8	
9	Limpiar la superficie externa de la campana para eliminar residuos	1	
10	Desconectar el vibro tamiz de la vasca	1,7	
11	Desconectar el tanque con el vibro tamiz	1,5	
12	Lavar la manguera que conecta la vasca con la campana		1,5
13	Lavar la manguera que conecta el tanque con el vibro tamiz		1,5
14	Quitar las bandejas que están debajo de la campana	2,5	
15	Lavar las bandejas con agua a presión	3,8	
16	Colocar las bandejas lavadas debajo de la campana	2	
17	Colocar corona con filtro limpio en la campana	2,5	
18	Conectar una vasca limpia con una manguera limpia	1,5	
19	Verificar que la vasca tenga un filtro limpio		1
20	Conectar un vibro tamiz limpio	1,5	
21	Conectar el tanque de esmalte con el vibro tamiz	1,2	
22	Conectar los cables al tomacorriente (agitador y bomba)	0,5	
23	Abrir válvula de alimentación	0,2	
24	Reiniciar la línea de esmaltado	0	
TOTAL		28,3	6,5

Elaboración Propia

4.2.2.3 Etapa 3: Convertir las operaciones internas en externas

Se debe tener el objetivo de transformar la mayor cantidad posible de operaciones internas en externas. Esto significa adelantar la preparación o simplificar tareas que, normalmente, solo se realizan cuando la línea está detenida. Se debe asegurar de que todos los equipos y herramientas estén listos antes de iniciar.

Inicialmente se plantea que se laven las bandejas de la campana. Sin embargo, podrían limpiarse no cuando la línea está parada, sino antes. Reemplazando las bandejas que se saquen por bandejas previamente lavadas.

4.2.2.4 Etapa 4: Perfeccionar las tareas Internas y externas

Se evaluarán todas las tareas (internas y externas) para reducir movimientos innecesarios, tiempos de espera o ineficiencias. El objetivo es minimizar los tiempos de cambio y maximizar el tiempo de producción. Los pasos internos, como la limpieza de la campana, deben ser optimizados. Esto puede incluir el uso de herramientas más eficientes o la modificación de procedimientos para hacerlo más rápido.

Se agruparán las tareas que pueden hacerse simultáneamente. Desconectar la manguera de la campana y quitar la corona y filtro de esta se pueden hacer al mismo tiempo. Desconectar el vibro tamiz de la vasca y el tanque del vibro tamiz también pueden hacerse juntos. Por último, colocar el filtro de la campana, conectar un vibro tamiz limpio y las bandejas debajo de la campana también se pueden hacer en simultáneo. Para esto se requerirán más operarios, pero es viable porque es un momento en que la línea está parada. Otra actividad que se perfeccionó es el uso de una hidrolavadora en vez de agua en mangueras corrientes. La presión de la hidrolavadora ayudará a hacer el proceso más rápido.

La tabla 25 muestra el cómo se han dividido las tareas, según el operario, e incluyendo los nuevos tiempos, reducidos tras la perfección de tareas.

Tabla 25. Cuadro de tareas por operario para el método mejorado

TIEMPO	OPERADOR 1	OPERADOR 2	OPERADOR 3
0	Parar la línea y cortar alimentación de esmalte		
0.5	Retirar cables del tomacorriente		Traer escalera
1	Quitar corona y filtro	Desconectar la manguera de la campana	
1.8		Colocar manguera limpia	
2.3	Retirar vasca sucia		Preparar hidrolavadora

3.3	Conectar la hidrolavadora a la campana		
3.8	Limpiar la superficie externa		Tener listas las mangueras de conexión
5.5	Quitar las bandejas que están debajo de la campana		Tener listas las bandejas limpias
5.8	Desconectar el vibrotamiz de la vasca	Desconectar el tanque del vibrotamiz	Conectar una vasca limpia con una manguera limpia
6.6	Colocar bandejas limpias		
8.1	Colocar corona en la campana	Conectar un vibrotamiz limpio	Verificar que la vasca tenga un filtro limpio
8.6	Conectar el tanque de esmalte con el vibrotamiz		
8.9	Conectar los cables al tomacorriente (agitador y bomba)		
9.1	Abrir válvula de alimentación		
9.1	Reiniciar la línea de esmaltado		

Elaboración Propia

Con todas estas mejoras, tal como se observa en la tabla 26 se logró reducir el tiempo de 28,3 a 9,1 minutos en actividades internas, y las externas aumentaron a 9,5 minutos.

Tabla 26. Toma de tiempo del método mejorado del Lavado de Campana

Ítem	Actividad	Tiempo (min) - Interna	Tiempo (min) - Externa
1	Parar la línea y cortar alimentación de esmalte	0	
2	Retirar cables del tomacorriente (vasca y vibro tamiz)	0,5	
3	Traer escalera y subir		1
4 y 5	Desconectar la manguera de la campana y quitar corona y filtro y colocar manguera limpia	1,3	
6	Retirar vasca sucia	0,5	
7	Preparar hidro lavadora		1,5
8	Conectar la hidro lavadora a la campana, para que se limpie por dentro	1	
9	Limpiar la superficie externa de la campana para eliminar residuos	0,5	
12	Lavar la manguera que conecta la vasca con la campana		1,5
13	Lavar la manguera que conecta el tanque con el vibro tamiz		1,5
14	Quitar las bandejas que están debajo de la campana	1,7	
10 y 11	Desconectar el vibro tamiz de la vasca y el tanque del vibro tamiz	0,3	
15	Preparar bandejas limpias		1,5

20	Colocar bandejas limpias debajo de la campana	0,8	
18	Conectar una vasca limpia con una manguera limpia		1,5
19	Verificar que la vasca tenga un filtro limpio		1
16, 17	Colocar corona en la campana, conectar un vibro tamiz limpio	1,5	
21	Conectar el tanque de esmalte con el vibro tamiz	0,5	
22	Conectar los cables al tomacorriente (agitador y bomba)	0,3	
23	Abrir válvula de alimentación	0,2	
24	Reiniciar la línea de esmaltado	0	
TOTAL		9,1	9,5

Elaboración Propia

4.2.2.5 Etapa 5: Estandarizar el nuevo procedimiento

Una vez que se haya optimizado el proceso, es importante documentar y estandarizar el nuevo procedimiento para asegurar que sea replicable en futuras operaciones. Esto implica crear un manual de instrucciones detallado. Se debe verificar que el nuevo proceso de lavado se esté llevando a cabo correctamente y continúe siendo eficiente con el tiempo. Es fundamental que el personal adopte una nueva mentalidad de mejora continua, donde la optimización de tiempos y recursos sea una prioridad constante. Por ello, se creó la tabla 27, que muestra un instructivo detallado con el paso a paso de cómo realizar el lavado de campana:

Tabla 27. Instructivo a implementar para Lavado de Campana

LAVADO DE CAMPANA		Unidad: Cerámicos
		Área o sección: Línea de esmalte
		Código: C-I-PRO-038
		Versión: 1
		Fecha de la versión: 10/10/2024
		Página: 1
EPP's	Botas, mandil, protector auditivo y lentes de seguridad	
Actividad	Instrucciones	
QUITAR MANGUERA Y CORONA	2. Desconectar manguera sucia y quitar corona. Antes de iniciar, la escalera debe estar en posición asignada para subir. Posteriormente, colocar manguera limpia.	

RETIRAR VASCA SUCIA	3. Retirar la vasca sucia y tener una limpia en un lugar cercano.
LAVAR PEDESTAL Y CAMPANA	4. Introducir boquilla de hidro lavadora por la manguera limpia para lavar pedestal y campana, quitar todas las partes sólidas. Antes de iniciar se debe tener la hidro lavadora cerca.
RETIRAR BANDEJAS SUCIAS	5. Retirar las bandejas sucias (grande y pequeña) y ubicarlas en posición óptima.
DESCONECTAR ELEMENTOS RESTANTES	6. Desconectar el tamiz de la vasca y el tanque del vibro tamiz
COLOCAR BANDEJAS LIMPIAS	7. Colocar las bandejas limpias (grande y pequeña) de una manera rápida, para esto se debe tener las bandejas listas cerca.
COLOCAR VASCA Y CORONA	8. Colocar la vasca, vibro tamiz y la corona limpia, para esto se debe tener la vasca y el filtro limpios previamente.
ABRIR ALIMENTACIÓN	9. Conectar los cables en los últimos 2 interruptores y abrir la válvula de alimentación (colocar en ON).

Elaboración Propia

4.3 Aplicación de la Mejora: 5S

Se evaluará la línea de esmalte para encontrar dónde y cómo se pueden aplicar las 5S.

4.3.1 Situación Actual

Actualmente, la línea de esmalte se divide en 3 partes que demandan de diferentes tipos de organización y limpieza. La primera es la sección de campana, que abarca desde que sale la pieza del secadero hasta antes que ingrese a la máquina de impresión Kerajet. Después está la Kerajet, que necesita de atención y cuidado más específico por ser una máquina delicada. Y por último está la sección de decorado que abarca desde que sale la pieza impresa hasta antes que ingrese al horno. Las 3 secciones deben pasar por las 5S y se les debe crear un plan de implementación 5S para que sea algo constante, y los operadores puedan hacerle seguimiento.

4.3.2 Proyecto de mejora

La propuesta de mejora consiste en implementar un cronograma de las 5S en la línea de esmalte. Para que sea más organizado, se ha dividido en 3 secciones ya que las 3 tienen necesidades diferentes.

La primera sección es la campana, aquí es donde se aplica el engobe para darle uniformidad a la pieza y luego el esmalte del color base que tendrá la pieza.

La tabla 28, se ha elaborado con el fin de mostrar en que actividades específicas de la sección campana serán aplicadas los conceptos de las 5S, y también, con qué frecuencia.

Tabla 28. Implementación de las 5S en la Campana

ITEM	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TURNO
SELECCIÓN	Verificar el estado de las mangueras y desechar las inutilizables.	Cada 6 meses (dependiendo del estado de la manguera)	
	Verificar el estado de los tacos y desechar los desgastados.	Diario	Turno 1
ORDEN	Mantener en orden las mangueras que se usen	Diario	Cada turno
	Mantener picnómetro, copa ford, jarras, bandejas y espátulas en el mueble de equipos y accesorios		
	Mantener el orden del armario de botas, utensilios de limpieza y mesa de trabajo		
	Mantener la hidrolavadora en su lugar a lado de las campanas		
	Mantener las bandejas limpias en su lugar		
	Mantener en orden las vascas, flujómetros y tachos de quiebra		
LIMPIEZA	Retirar las piezas rotas y el polvo acumulado en la salida del secadero, curva, zona de vascas y alineador de piezas.	Diario	Cada turno
	Limpieza de cabina de agua, zona de campana, zona del pozo y transporte de campana		
	Limpieza del virador, armarios, mesa de trabajo y zona del rebarbador		
	Limpieza de canaletas, tableros de control y sopladores	Diario	Turno 1
ESTANDARIZAR	Llenar el formato de control - campana y archivarlo después de la revisión del supervisor	Diario	Cada Turno
	Seguimiento del producto según ficha		
	Mantener actualizado el programa de producción		
MANTENER	Ejecutar tareas programadas	Diario	Cada Turno

- Selección: Al verificar y desechar las mangueras inservibles, se evita el desperdicio de esmalte, se reduce el riesgo de obstrucción o fuga, y se mejora el rendimiento de la aplicación.
- Orden: Al mantener ordenadas las mangueras y los demás utensilios de trabajo, se facilita el acceso y la identificación de los mismos, se ahorra tiempo y espacio, y se evita la pérdida o el deterioro de los materiales.
- Limpieza: Al limpiar los equipos y retirar los residuos, se previene la contaminación o la alteración del esmalte, se mejora la calidad superficial de las baldosas, y se evita la generación de olores.
- Estandarizar: Al mantener actualizados los formatos y programas de producción, se permite llevar un seguimiento de la calidad y evitar posibles fallos por no encajar con los parámetros establecidos.
- Disciplina: Al ejecutar las tareas programadas a diario, se fomenta el compromiso y la responsabilidad de los trabajadores, se mejora el clima laboral y la satisfacción de los clientes, y se logra la mejora continua del proceso.

La siguiente es la sección de máquinas de impresión: Kerajet. Tal como se observa en la figura 31, aquí es donde a la pieza se le imprime el diseño de acuerdo con la producción.



Figura 31. Máquinas de impresión Kerajet

Fuente: La empresa

Tabla 29. 5S de máquinas de impresión Kerajet

ITEM	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RESPONSABLE
SELECCIÓN	Verificar el estado de galoneras, paños, hisopos, y trapos para desechar los inutilizables	Cada turno	Operario de turno
ORDEN	Mantener las piezas del TEST ordenadas según sus identificaciones	Cada turno	Operario de turno
	Mantener cerradas las puertas de la kerajet y ordenados según sus identificaciones		
LIMPIEZA	Aspirar el piso de la cabina de impresión	Cada turno	Operario de turno
	Limpieza de los rascadores (limpieza de tapeto) de la kerajet		
	Limpieza de la zona de tintas e inkfiller		
	Limpieza de paredes, ventanas y estructura de la kerajet		
	Limpieza de los tanques refrigerantes		
	Limpieza de las ruedas de las guías centradoras		
	Limpieza del chiller, PC y teclado	Interdiario	Técnico de impresión
	Limpieza de barra y bandeja de aspiración, sensores y esponjas		
	Limpieza del sensor de barrera de altura y contador de piezas	Una vez por semana	Técnico de impresión
	Limpieza de las bombas de aspiración y la parte posterior de la kerajet		
	Limpieza del lodo en el tanque de agua del limpia tapeto		
Limpieza de las esponjas por exceso de tinta	Cada dos meses	Técnico de impresión	
ESTANDARIZAR	Mantener los parámetros de altura de impresión establecidos	Cada turno	Operario de turno
	Mantener los parámetros de purga establecidos		
	Revisar que la T° de cabina sea alrededor de 24-26°C		
	Revisar que la T° de la entrada de piezas no exceda 60°C		
MANTENER	Ejecutar tareas programadas	Cada turno	Operario de turno

Elaboración propia

Por otro lado, la tabla 29 muestra como se ha organizado la aplicación de los conceptos de 5S para la máquina de impresión Kerajet. A continuación, entraremos en más detalle para cada pilar:

- Selección: Al verificar y desechar los elementos inutilizables, se evita el desperdicio de material, se reduce el riesgo de dañar la máquina o el producto, y se mejora el rendimiento de la impresión.
- Orden: Al mantener ordenados los elementos de trabajo, se facilita el acceso y la identificación de estos, se ahorra tiempo y espacio, y se evita la pérdida o el deterioro de los materiales.
- Limpieza: Al limpiar los equipos y las superficies, se previene la contaminación o la alteración del producto, se mejora la calidad de la impresión, y se evita la generación de olores.
- Estándares: Al mantener actualizados los parámetros y los registros de temperatura, se asegura el correcto funcionamiento y mantenimiento de los equipos, se evita el desgaste o la avería de estos, y se prolonga su vida útil.
- Disciplina: Al ejecutar las tareas programadas, se fomenta el compromiso y la responsabilidad de los trabajadores. Esto contribuye a la mejora continua del proceso, lo que resulta en una producción más eficiente y de alta calidad.

Por último, se tiene la sección de decorado, que es donde a la pieza le aplican granilla, le pasan un rodillo encima para la protectora y le ponen engobe reverso por la parte inferior. Esta es la sección que termina con las piezas listas para entrar al horno, tal como se observa en la figura 32.



Figura 32. Sección de decorado

Fuente: La empresa

Tabla 30. 5S en el decorado

ITEM	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TURNO
SELECCIÓN	Verificar el estado de las mangueras y desechar las inutilizables.	Cada 6 meses (dependiendo del estado de la manguera)	
ORDEN	Mantener en orden las mangueras que se usen	Diario	Cada Turno
	Mantener picnómetro, copa Ford, jarras, bandejas y espátulas en el mueble de equipos y accesorios		
	Mantener en orden el armario de utensilios de limpieza y mesa de trabajo		
	Mantener ordenados los tachos de esmalte, vascas y tachos de quiebra		
LIMPIEZA	Limpieza de los equipos rotocolor, multirroll, cabina de disco, granilladora y engobe reverso	Diario	Cada Turno
	Limpieza del armario de utensilios, armario de documentos, mesa de trabajo, formador de filas, lavadero y dispensador de agua		
	Retirar las piezas rotas y el polvo acumulado en la entrada del horno y zona de compensadores		Turno 1
	Limpieza de canaletas, tableros de control, reflectores y zona de rodillos		
ESTANDARIZAR	Llenar el formato de control - decorado y archivarlo después de la revisión del supervisor	Diario	Cada Turno
	Mantener actualizado el programa de producción		
	Seguimiento del producto según ficha		
MANTENER	Ejecutar tareas programadas	Diario	Cada Turno

Fuente: Elaboración propia

La tabla 30 muestra como se ha organizado la aplicación de los conceptos de 5S para el área de decorado. A continuación, entraremos en más detalle para cada pilar:

- Selección: Al verificar y desechar las mangueras inutilizables, se evita el desperdicio de material por fugas.
- Orden: Al mantener ordenados los picnómetros, las copas Ford, las jarras, las bandejas, las espátulas y los demás utensilios de trabajo, se facilita el acceso y la identificación de estos, se ahorra tiempo y espacio, y se evita la pérdida o el deterioro de los materiales.

- Limpieza: Al limpiar los equipos y las superficies, se previene la contaminación o la alteración del producto y se mejora la calidad de la decoración. Además, si se tiene todo limpio también se disminuirá el tiempo en el cambio de repuestos ya que no se perderán segundos de lavado durante el cambio.
- Estandarizar: Al seguir el producto según la ficha técnica, se asegura el cumplimiento de los requisitos y las especificaciones del cliente, se evita la variación o la inconsistencia del producto, y se mejora la satisfacción del cliente.
- Disciplina: Al ejecutar las tareas programadas diariamente, se logra la mejora continua del proceso.

4.4 Aplicación de la Mejora: Jidoka

En esta sección se detalla la aplicación del principio Jidoka con el propósito de reducir la ocurrencia de defectos en línea. Primero, se presenta la situación actual que evidencia las limitaciones y problemas asociados a la falta de mecanismos de detección y respuesta autónoma. Luego, se describe el proyecto de mejora propuesto a las tres máquinas con más ocurrencias.

4.4.1 Situación Actual

En la actualidad, el concepto de Jidoka es un concepto no explorado en la línea de producción de la empresa, pues la empresa prefiere usar un sistema de verificación más tradicional, como lo es la supervisión de los operarios. Los operarios se encargan de supervisar la línea de producción en sus 8 horas de turno, estando en constante movimiento a lo largo de la línea para estar observando en tiempo real el desarrollo de actividades en esta. Sin embargo, muchas veces los operarios no están en el momento exacto cuando se detecta una falla, razón por la cual, al darse la falla, no se logra detectar a tiempo, y no se logra parar la línea a tiempo, ni a reaccionar en el menor tiempo posible.

La implementación de un sistema de Jidoka tiene como mayor beneficio el que se podrá lograr detener la falla en el menor tiempo posible, en el preciso momento donde se detecta, para evitar que la falla se expanda, evitando que el problema llegue a mayores. Al mismo tiempo, que la máquina se detenga inmediatamente, permite que se detenga la línea y se detenga la producción, evitando gastos innecesarios de materia prima como esmalte o pintura, dado que la producción con una falla activa puede causar desperfectos en las baldosas producidas. Sin embargo, el mayor beneficio es que la aplicación del Jidoka permitirá un

menor tiempo de respuesta a las fallas, debido a su detección de anomalías de manera automática. Al ser una detección automática y temprana, se eliminan los tiempos de respuesta de los operarios, de la comunicación con el área de mantenimiento y de respuesta. En vez de esto, las máquinas, al detectar una situación anormal, aplican los conceptos de Jidoka para generar una alarma directamente, la cual llega al área de mantenimiento. Esto no solo evita que los defectos se propaguen a lo largo de la producción, sino que también permite la intervención oportuna de los operarios para solucionar el problema en su origen, asegurando así una mejora continua en la calidad del producto.

Como fase inicial, se priorizará la implementación de Jidoka en las tres máquinas con mayores tiempos de parada en la línea de producción: Kerajet, Rotocolor y Multiroll. La elección de estas máquinas responde a su impacto crítico en la eficiencia operativa, y se espera que esta mejora permita reducir significativamente las pérdidas por defectos y paradas no planificadas. Si los resultados son positivos, se evaluará la posibilidad de extender esta implementación a otras máquinas de la línea de decorado que también puedan beneficiarse del sistema Jidoka, como la máquina Checkpoint. Posteriormente, se planteará un proyecto más amplio para llevar esta mejora a otras áreas de la línea de producción, ampliando así su impacto en la calidad y la eficiencia global del proceso.

Utilizando la información de la base de datos de paradas en línea manejada por los supervisores, y el análisis realizado a las máquinas en el apartado de Mantenimiento Productivo Total, podemos extraer, de los comentarios de los supervisores, las razones detrás de las paradas no programadas. Extrayendo estos comentarios, logramos elaborar la tabla 31, en base a las siguientes causas principales para las máquinas a analizar, los cuales serán nuestros principales puntos para tomar en cuenta a la hora de proponer las mejoras de Jidoka.

Tabla 31. Causas más comunes tras paradas no programadas

Causas Detectadas tras las paradas no programadas		
KeraJet	Rotocolor	MultiRoll
Deformaciones o aparición de arco en las baldosas	Variaciones en el grosor de las baldosas	Deformaciones en las piezas que resultan en arcos o curvaturas no deseadas
Desalineación de las baldosas en el proceso de impresión	Desalineación de la cuchilla de corte	Abolladuras o irregularidades en el rodillo Desajuste en la altura del rodillo

Elaboración Propia

4.4.2 Proyecto de mejora

En base al análisis causa-efecto para cada causa crítica, se ha propuesto una solución específica utilizando los principios del Jidoka. Para estas soluciones, se ha buscado implementar, dentro de cada una de las máquinas, un sistema de detección automático para las causas anormales que se detecten dentro de estas, para poder generar una alerta, y corregir el error a través de la rápida intervención de los operarios y técnicos.

KERAJET

- **Implementar un sensor 3D, que detecte las deformaciones, y genere una alarma dado el caso.**

La mejora consiste en implementar un sensor 3D en la entrada de la máquina Kerajet para detectar deformaciones en las baldosas de manera instantánea. Esto es esencial debido al espacio reducido y la alta precisión requerida en la línea de alimentación. Baldosas con arcos pronunciados que no se detecten a tiempo pueden atascarse, interrumpir la producción y causar acumulación en la entrada, comprometiendo la máquina. Además, las deformaciones menos evidentes pueden ingresar a la impresora, pero serán descartadas posteriormente, generando desperdicio de tinta no reutilizable y costos adicionales.

El sensor, montado sobre la faja transportadora mediante un soporte metálico, medirá las dimensiones de las baldosas en los ejes X, Y y el eje Z. Estará conectado a un PLC que transmitirá datos en tiempo real a la computadora principal. Si una baldosa excede los límites de tolerancia, el sistema detendrá automáticamente la línea y generará una alerta visual y sonora para que los operarios retiren la pieza no conforme. Esto optimiza la eficiencia del proceso y reduce desperdicios.

El sensor seleccionado es el Perfilómetro Láser 2D/3D Keyence Serie LJ-X8000, diseñado para medir superficies con alta precisión. El modelo LJ-X8900, tal como se observa en la tabla 32, posee un haz láser de 720 mm de ancho, permite cubrir completamente baldosas de 30, 46 y 60 cm, generando 3,200 puntos de referencia por escaneo para obtener imágenes de alta resolución.

Tabla 32. Perfil Técnico del Sensor LJ-X8000

 Perfilómetro Láser 2D/3D Keyence Serie LJ-X8900



Rango de Medición- Eje Z (Altura)	±400 mm
Rango de Medición- Eje X (Ancho)	720 mm(lado lejano)
Fuente de Luz	Láser semiconductor azul, 405 nm
Cantidad de puntos de perfil	3200 puntos
Intervalo de puntos de perfil	225 μm(ajustable hasta 100 μm)
Resistencia ambiental	Resistencia a vibración y golpes a 15 G/6 ms
Temperatura de operación	0 a +45°C
Material	Aluminio
Peso	Aprox. 1600 g

Elaboración Propia

- **Implementar un dispositivo de alineación automática**

El dispositivo de alineación automática utilizará el sensor 3D LJ-X8900 para detectar desalineaciones en las baldosas antes de su ingreso a la máquina Kerajet. La alineación precisa es crucial, ya que las baldosas deben entrar con un ángulo exacto de 90 grados. Cualquier inclinación, como la observada en el ejemplo en la figura 33, puede causar desalineaciones en la impresión o, en casos graves, atascos en la entrada de la máquina. Esto podría interrumpir la producción y generar acumulaciones críticas en la línea.



Figura 33.Comparación de Baldosa Correctamente colocada vs incorrectamente colocada.

Elaboración Propia

Para resolver el problema de alineación, se implementará un dispositivo automático compuesto por rodillos REMATRACK TTX inclinados, los que se observan en la figura 34, ubicados antes de la entrada a la máquina Kerajet. Estos rodillos, conectados al sensor 3D LJ-X8900, ajustarán en tiempo real la orientación y el ángulo de las baldosas en la faja transportadora.



Figura 34. Set de Rodillo REMATRACK TTX

Fuente: Rema Tip Top (2024)

El sensor 3D detecta desalineaciones en el ángulo de entrada de las baldosas y envía la información al sistema de control, que ajusta el movimiento de los rodillos REMATRACK TTX para corregir la orientación. Los rodillos aplican una presión que alinea gradualmente la baldosa a 90 grados, a través de un sistema de motores conectados a los rodillos, asegurando su ingreso correcto a la máquina Kerajet. El segundo componente de este sistema de alineación automática es un conjunto de varillas metálicas ajustables, posicionadas en la entrada de la máquina Kerajet, las cuales adaptan su longitud y posición para alinearse a las dimensiones específicas de cada baldosa. Su ajuste permite mantener un espacio máximo de 0.5 mm entre los bordes de la baldosa y las varillas, proporcionando una guía precisa en caso de que exista una desviación mínima que no haya sido completamente corregida por los rodillos.

ROTOCOLOR

- **Instalar un sensor de luz que detecte baldosas con grosor no conforme, permitiendo a un operario retirarlas.**

El objetivo de esta mejora es garantizar que solo las baldosas con el grosor especificado ingresen a la máquina Rotocolor, evitando atascos. Si una baldosa excede el grosor permitido, puede quedar atrapada entre el rodillo y la faja transportadora, causando roturas y fragmentación de cerámica que requieren limpieza y generan interrupciones.

Por otro lado, las baldosas con un grosor inferior al especificado, aunque no causen daños inmediatos, serán rechazadas posteriormente en la máquina Checkpoint, generando costos innecesarios de tinte y esmalte. Para evitarlo, se instalará un sensor de distancia infrarrojo OMRON ZX-LD100 antes de la entrada al Rotocolor. Este sensor, cuyas especificaciones se presentan en la tabla 33, mide en tiempo real el grosor de las baldosas mediante un rayo de luz infrarroja, permitiendo identificar y retirar piezas fuera de especificación de manera oportuna, optimizando así el flujo de producción y reduciendo costos operativos.

Tabla 33. Perfil Técnico del Sensor ZX-LD100

Sensor Laser ZX-LD100



Rango de Medición	±40 mm
Fuente de Luz	Láser semiconductor visible, 650 nm, salida máxima 1 mW
Punto de medición	100 mm
Temperatura de operación	0 a 50°C
Resistencia a vibración	10 a 150 Hz
Resistencia a choque	300 m/s ²
Conector	JST PH de 3 pines

Elaboración Propia

El sensor envía la información del grosor de la baldosa al PLC, que verifica si está dentro del rango permitido según su formato. Si la baldosa no cumple las especificaciones, el PLC detiene la línea y activa una alerta visual y sonora para que los operarios retiren la pieza no conforme de forma eficiente.

La tolerancia para el grosor se basa en las normas ISO 13006:2018 e ISO 10545-2, estableciendo un margen máximo de desviación del 10%, con los espesores aceptados por formato presentado en la tabla 34. Solo se aceptarán baldosas cuyo espesor esté dentro de este rango, configurado previamente en el sensor para detectar automáticamente las piezas fuera de especificación.

Tabla 34. Espesores de Baldosa aceptados por Formato

Formato (de baldosa)	Espesor	Desviación Máxima Permitida ($\pm 10\%$)	Rango de espesor Aceptado	
			Espesor Mínimo Aceptado	Espesor Máximo Aceptado
34x34 cm	7 mm	± 0.7 mm	6.3 mm	7.7 mm
46x46 cm	7.5 mm	± 0.75 mm	6.75 mm	8.25 mm
20x60 cm	8.5 mm	± 0.85 mm	7.65 mm	9.35 mm
30x60 cm	8.7 mm	± 0.87 mm	7.83 mm	9.57 mm
60x60 cm	8.7 mm	± 0.87 mm	7.83 mm	9.57 mm

Elaboración Propia

Si el sensor detecta una baldosa fuera del rango permitido, el PLC detiene la faja transportadora y activa una alerta visual y sonora. La alerta visual consiste en una luz LED roja con la etiqueta "Pieza defectuosa", mientras que la sonora es un *Buzzer* industrial con sonido intermitente.

Tras retirar la pieza defectuosa, el operario debe presionar un botón verde para desactivar las alertas y reanudar la operación. El sistema registra automáticamente cada incidente en una base de datos, facilitando el análisis de calidad y permitiendo identificar patrones, como la frecuencia de paradas, turnos más afectados y formatos problemáticos, para optimizar los procesos de producción.

- **Implementar un sensor que verifique la correcta alineación de la cuchilla.**

Un problema frecuente en la máquina Rotocolor es la desalineación de la cuchilla utilizada para cortar la lámina protectora de las baldosas, lo que genera desperdicio de material protector si no corta correctamente o produce piezas defectuosas si el corte no cubre completamente la baldosa. Estos defectos son detectados y rechazados por la máquina Checkpoint, afectando la eficiencia y aumentando las pérdidas de recursos.

Para garantizar la alineación precisa de la cuchilla, se propone integrar un sistema automático basado en Jidoka con un sensor de perfil láser de alta precisión. Este sensor proyecta una "lámina" de luz en dos dimensiones para detectar cualquier obstrucción o ángulo incorrecto, asegurando una alineación constante y minimizando desperdicios. Se seleccionó el sensor KEYENCE LJ-G015K, cuyas especificaciones técnicas están incluidas en la tabla 35, diseñado para medir en dos dimensiones y más adecuado que modelos complejos como el LJ-X8000, optimizando costos y asegurando la funcionalidad requerida.

Si el sensor detecta una alineación incorrecta de la cuchilla tras un cambio, envía una señal al PLC, que activa una luz de advertencia naranja colocada sobre el rodillo Rotocolor. Esta luz, visible para el operario, indica la necesidad de ajustar la posición de la cuchilla. Una vez corregida la alineación, la luz se apaga automáticamente. Los operarios serán capacitados para interpretar y responder a esta alerta de manera eficiente.

Tabla 35. Perfil Técnico del Sensor LJ-G015K

Perfilómetro Láser 2D Keyence Serie LJ-G015



Rango de Medición- Eje Z (Altura)	±2.3 mm
Rango de Medición- Eje X (Ancho)	7MM (Referencia)
Tipo de Láser	Láser semiconductor rojo
Potencia de Emisión	0.95 mW
Longitud de Onda	655 nm
Resistencia ambiental	Maximo de 5000 Lux
Temperatura de operación	0 a +50°C
Material	Aluminio
Peso	Aprox. 260 g

Elaboración Propia

MULTIROLL

- **Adquirir un sensor de luz que detecte arcos en las piezas y emita una señal para notificar a los operarios.**

Las piezas con arcos pronunciados en la máquina Multiroll pueden bloquear el flujo de producción, causando acumulaciones, roturas de baldosas y posibles daños a la máquina. Para prevenir esto, se implementará un sensor de luz similar al utilizado en la máquina Kerajet, específicamente el perfilómetro láser Keyence LJ-X8900, que detectará piezas fuera de especificación.

Cuando el sensor identifique una baldosa con un arco, enviará una señal al PLC, que detendrá la faja transportadora y activará una alerta visual y sonora mediante una luz roja y un *Buzzer* industrial. Esto notificará al operario para retirar la pieza defectuosa, evitando interrupciones y asegurando la continuidad de la producción.

- **Aplicar un sensor para detectar abolladuras del rodillo**

Las abolladuras en el rodillo de la máquina Multiroll, causadas por desgaste, presión desigual o residuos, afectan la uniformidad de su superficie y el flujo de producción. Este desgaste es especialmente notable cuando el mismo rodillo se utiliza para diferentes líneas y tamaños de baldosas. Algunas zonas del rodillo reciben mayor presión, lo cual impide que todas las áreas mantengan una superficie uniforme. La presencia de residuos sobre las baldosas también contribuye a este problema, ya que dichas partículas pueden incrustarse en el rodillo y crear abolladuras o imperfecciones.

Para mitigar este problema, se implementará un sensor láser circunferencial SmartRay ECCO 95, que inspeccionará toda la superficie del rodillo en tiempo real mientras el rodillo gira, detectando deformaciones y enviando una señal al PLC para detener la faja y activar una alerta visual. Este sensor es idóneo para esta tarea, debido a, tal como se muestra en la tabla 36 que contiene sus especificaciones técnicas, su capacidad de inspeccionar hasta 1920 puntos de referencia simultáneamente, lo que lo convierte en una herramienta de alta precisión para identificar abolladuras o irregularidades en superficies tridimensionales.

El sensor compacto se instalará en un soporte metálico diseñado específicamente, colocado sobre el rodillo en un ángulo óptimo para inspeccionar su superficie. Esta configuración permite una detección eficiente de deformaciones sin interferir en la función principal del rodillo. A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del sensor.

Tabla 36. Perfil Técnico del Sensor SmartRay ECCO 95

Sensor Láser Circunferencial SmartRay ECCO 95



Distancia de separación (Stand-Off)	145 mm
Puntos de medición	100 mm
Puntos por perfil	1920
Velocidad de escaneo	1-10 kHz
Entradas	2 Entrdas(5-24 VDC)
Salidas	2 Salidas, 24 VDC
Temperatura de operación	20°C-70°C
Voltaje	24 VDC, ± 15% 7.5 W
Longitud de onda	450 nm

Elaboración Propia

- **Implementar un sistema de ajuste automático de la altura del rodillo, en base al sensor**

La máquina Multiroll enfrenta dificultades al procesar baldosas de diferentes formatos debido a su rodillo fijo, que requiere ajustes manuales para cambiar la altura según el grosor de las piezas. Este proceso es engorroso y aumenta el riesgo de errores, como productos defectuosos si la altura no es adecuada, o atascos en la línea por presión excesiva.

Para resolver esto, se propone un sistema de ajuste automático de altura basado en un sensor infrarrojo OMRON ZX-LD100, que mide con precisión el grosor de las baldosas mediante ondas infrarrojas. Los datos recopilados se envían al controlador, que calcula el grosor en tiempo real y ajusta el rodillo automáticamente a través del PLC, optimizando la operación.

El PLC compara el grosor de la baldosa con los valores de referencia y envía una señal para ajustar la altura del rodillo utilizando un servo actuador de eje lineal. Este actuador convierte el movimiento del motor en desplazamientos verticales precisos, permitiendo ajustes milimétricos necesarios para manejar el peso significativo del rodillo.

Se seleccionó el ROBO Cylinder® RCP6-SA6C, que, tal como se muestra en la tabla 37, ofrece alta precisión posicional (± 0.005 mm) y capacidad de carga de hasta 16 kg, garantizando un desempeño eficiente en los ajustes. A continuación, se presenta la tabla 37 con sus especificaciones técnicas.

Tabla 37. Perfil del Servo Actuador ROBO Cylinder.**Servo Actuador ROBO Cylinder RCP6 Series**

Ancho de cuerpo	50 mm
Carrera	50 -800 mm
Carga Máxima Horizontal	40 kg
Carga Máxima Vertical	16 kg
Velocidad Máxima	1440 mm/s
Repetibilidad	± 0.005 mm

Elaboración Propia

4.5 Aplicación de la Mejora: Andon

En esta sección se desarrolla la implementación del sistema Andon como herramienta de apoyo visual para la atención oportuna de ocurrencias. Para ello, primero se expone la situación actual, describiendo las limitaciones en la respuesta ante anomalías. A continuación, se presenta el proyecto de mejora propuesto, basado en el uso de sensores acompañados de señales visuales y auditivas que permitan alertar, coordinar y agilizar la toma de decisiones en tiempo real.

4.5.1 Situación Actual

Se identifican varios equipos a lo largo de la línea de esmalte como sopladores, cabina de agua, Kerajet, y otros más. Al estar en línea, estos equipos requieren una operación secuencial y una rápida detección de errores ayudaría a disminuir las paradas, lo que podría resolverse con la implementación de un sistema Andon. Cuando ocurre un problema, no hay un sistema visual o auditivo inmediato que alerte a los técnicos y/o operadores responsables. Por lo que las máquinas pueden detenerse sin previo aviso debido a un error no detectado a tiempo, afectando la productividad general. Además, si no se puede ver de donde proviene el error, es más complicado identificar en qué punto de la línea ocurrió un fallo crítico que impacta la calidad del producto.

4.5.2 Proyecto de mejora

El proyecto consiste en agregar sensores para identificar de forma visual y auditiva si ocurre algún problema en la línea. Esto con el fin de identificar dónde estuvo la falla.

1. Instalación de sensores específicos en los equipos clave

Los equipos clave serán los que tienden a parar constantemente por errores que podrían solucionarse rápidamente con un sistema de gestión visual. Se considera a los sopladores, cabina de agua y Kerajet.

Para el caso de los sopladores, se instalarán sensores de presión y flujo, como el que se observa en la figura 35, para monitorear el correcto funcionamiento del aire comprimido. Se debe programar para que la presión sea suficiente para enfriar la pieza antes de llegar a la Kerajet.



Figura 35. Sensor de aire comprimido

Fuente: Naylamp Mechatronics (2024)

Para el caso de la cabina de agua, se busca instalar sensores que midan el nivel de agua en el tanque, y la presión del rocío, como el ejemplo de la figura 36. Esto permitirá saber cuándo hacer el llenado de agua cuando esté por acabarse y medir la presión junto con la cantidad de agua a verter para que sea suficiente para tapar los poros de la pieza.



Figura 36: Sensor de Nivel de Agua

Fuente: Electromania Perú (2024)

Para el caso de la Kerajet, instalarán sensores de temperatura y nivel de tinta en cada uno de los 4 cabezales de cada Kerajet, como el sensor de la figura 37. Se necesita medir la temperatura de las piezas antes de pasar por la zona de impresión porque de estar muy calientes, pueden dañar los cabezales. El nivel de tinta se medirá para poder programar el cambio de esta y no quedar desabastecidos.



Figura 37. Sensor de temperatura

Fuente: Inprocess (2024)

2. Sistema de visualización centralizada

Se busca incorporar un sistema de luces de diferentes colores en cada máquina para indicar su estado, como el ejemplo de la figura 38. Si la luz es verde significa que la operación está normal; si la luz es amarilla significa que la operación está en riesgo, porque los parámetros están alejándose del rango ideal; y si es roja es porque los parámetros están muy fuera de rango y es posible que ocasione que se pare la línea.



Figura 38. Luces LED de advertencia industrial

Fuente: Amazon (2024)

3. Integración de alarmas sonoras

Se implementará también una alarma sonora, como la que se observa en la figura 39. En caso se encienda la luz amarilla o roja, se activarán alarmas auditivas para llamar la atención inmediata y que puedan ir a resolver el problema antes de que sea necesario detener la línea. La luz amarilla emitirá un sonido más leve para que los operadores puedan ir a identificar los parámetros fuera de rango, mientras que la luz roja sonará más fuerte para que venga directamente el equipo de mantenimiento.



Figura 39. Alarma acústica

Fuente: Garma Electrónica (2024)

4. Capacitación del personal

Se planea generar un plan de capacitación donde el supervisor de esmaltado y decorado entrene a los operadores para interpretar las señales del sistema Andon y actuar de manera rápida según el tipo de alerta. Este plan consiste en mostrarles qué sonido relacionar a qué color, y dar un plan de acción sobre cómo solucionar las alarmas más frecuentes.

5. Trazabilidad y registro:

Si se implementa un sistema que registre todas las alertas generadas por el Andon, se va a poder identificar patrones que servirán para agregar al TPM más adelante. Además, que se podrá ver en el tiempo, como evoluciona el tiempo de parada ocasionado por estas máquinas.

La implementación del sistema Andon en el esmaltado y decorado permitirá detectar fallas de manera anticipada, lo que mejorará la continuidad operativa de la línea. Asimismo, se fortalecerá la comunicación entre los operadores y los técnicos de mantenimiento mediante alertas visuales y sonoras, lo que permitirá una respuesta más rápida y eficiente ante cualquier anomalía.

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este inciso, se procederá a evaluar la implementación del plan de mejora elaborado, desde la perspectiva económica. Se realizará el análisis calculando primero el costo asociado a la implementación de las mejoras de *Lean Manufacturing*, y se enfrentará este costo en contra al ahorro generado por estas mejoras, esperando que el beneficio generado sea mayor a otros proyectos de inversión similares dentro del sector.

5.1 Costos de implementación de las mejoras

La implementación de las propuestas de mejora planteadas requiere una evaluación detallada de los costos asociados a cada herramienta. En las siguientes secciones se desglosan los costos de implementación correspondientes a las metodologías TPM, SMED, 5S, Jidoka y Andon, considerando tanto los recursos materiales como la mano de obra involucrados.

5.1.1 Costos de implementación asociados al TPM

Dentro de los costos de implementación asociados a la implementación del Plan de Mantenimiento Productivo Total (TPM), se ha decidido, para un mayor orden al presentar los resultados, dividir los costos según cada uno de los pilares implementados: Pilar de Mejora Enfocada, Pilar de Mantenimiento autónomo, y Pilar de mantenimiento planificado

Hay que tener en cuenta que existirán dos tipos de costos a la hora de considerar los egresos para el armado del flujo económico. Tenemos los costos asociados a la inversión inicial, que serán los costos que se harán previamente a que la mejora se ponga en marcha, y serán necesarias para iniciar las actividades mejoradas, y, por otro lado, los costos relacionados al Capital de Trabajo Asociado a la mejora, el cual será un monto de capital anual que la empresa deberá invertir, de manera anual, para poder sostener el funcionamiento de las mejoras con el paso del tiempo.

Se detalla con mayor precisión el proceso utilizado para estimar la inversión necesaria para cada pilar, en relación con las mejoras descritas.

Pilar de Mejora Enfocada

Este pilar tiene como objetivo mejorar la productividad de las máquinas con la implementación de mejoras continuas específicas, que se centran en tratar problemas dentro de las máquinas que afectan su rendimiento y la incapacitan en poder llegar a su rendimiento óptimo. La mayoría de la inversión se ha centrado en equipos y accesorios a incluir en las

maquinarias lo cual implica grandes desembolsos de dinero, debido a que muchos de los equipos por adquirir son equipos sumamente especializados, y los últimos diseños, pues se desea poder mejorar lo más posible la productividad de los equipos. Para el cálculo de precio de estos equipos, se ha cotizado directamente a empresas distribuidoras del entorno, y se realizó un benchmarking entre diferentes precios obtenidos, para poder dar con el precio más posible, esto con miras de poder obtener el flujo de caja más apegado a la realidad que podamos construir,

Al mismo tiempo, después de la adquisición de los equipos, se tuvo que desembolsar también en los servicios requeridos para el diseño e implementación de estas mejoras, el cual estuvo a cargo de profesionales externos de la empresa, a los cuales se les realizó un cargo por honorarios, en base a las horas que invirtieron sus servicios en nuestro proyecto. Las tasas fueron calculadas para ser lo más llamativas para profesionales del rubro, en base a la información existente en bolsas de trabajo del País, como lo son *Indeed* y *CompuTrabajo*.

La inversión total de este pilar fue de S/.35,377.36, como se pudo observar en la tabla 38. Este monto es equivalente al 45% de todo el presupuesto del TPM. Sin embargo, una ventaja es que el Capital de trabajo asociado a es tan elevado, con solamente S/.2,973 anuales para mantener la mejora.

Las tablas 38, 39 y 40 muestran a más detalle la inversión de mejora enfocada, con el detalle según cada máquina.

Tabla 38. Costos al detalle de la mejora enfocada en la Kerajet

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Reemplazar el cableado actual por cables de alta calidad, diseñados para minimizar interferencias y mejorar el aislamiento	Cables de alta resistencia termica ÖLFLEX HEAT 260 SC	Equipos , Materiales o Licencias	80	m (metros)	Unica vez	3.20 €	S/.12.81	S/.1,024.80
	Multímetro digital 17B+ Fluke	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	\$148.70	S/.,565.06	S/.,565.06
	Caja de herramientas	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
Instalar un switch de red dedicado para la máquina Kerajet, minimizando la interferencia de otros equipos en la comunicación	Tecnico Electricista	Servicios	24	Hr (horas)	Unica vez	S/.,23.52	S/.,23.52	S/.,564.48
	IES3100-8TF-P, switch PoE+ industrial gestionado Gigabit 8 Puertos	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	373.89 €	S/.,1,495.56	S/.,1,495.56
	GearIT Cable de conexión Ethernet RJ45 Cat-6	Equipos , Materiales o Licencias	100	Pies	Unica vez	\$26.98	S/.,102.52	S/.,102.52
	Herramientas de instalación para redes (cortador de cables, pinza para conectores RJ45, etc.)	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
	Técnico en redes	Tiempos y materiales	16	Hr (horas)	Unica vez	S/.,21.18	S/.,21.18	S/.,338.88
Implementar un sistema de comunicación industrial que garantice mayor estabilidad y velocidad	SIEMENS SIMATIC S7-1200, Módulo de comunicación	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	180.28 €	S/.,721.12	S/.,721.12
	Software de configuración de redes industriales PRONetplan V2	Equipos , Materiales o Licencias	1	Licencia	Licencia anual	\$1,909.79	S/.,7,257.20	S/.,7,257.20
	Ingeniero de automatización	Servicios	14	Hr (horas)	Unica vez	S/.,20.86	S/.,20.86	S/.,292.04
Instalar cubiertas protectoras en los sensores para minimizar la acumulación de polvo	Cubiertas protectoras para sensores (de material resistente y transparente, que permita la visualización correcta)	Equipos , Materiales o Licencias	4	Unidad	Unica vez	\$50.00	S/.,190.00	S/.,760.00
	Caja de herramientas	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
	Técnico de mantenimiento	Servicios	10	Hr (horas)	Unica vez	S/.,14.83	S/.,14.83	S/.,148.30
Adquirir y montar soportes ajustables para los sensores que facilitan su alineación precisa	Láminas de metal con la forma de los soportes ajustables	Equipos , Materiales o Licencias	8	Unidad	Unica vez	S/.,9.90	S/.,9.90	S/.,79.20
	Arandelas , tuercas y tornillos 1/4"	Equipos , Materiales o Licencias	3 paquetes de pernos y tuercas (12 en total)	Paquetes	Unica vez	S/.,7.50	S/.,7.50	S/.,22.50
	Almohadillas amortiguadoras de vibración 3M	Equipos , Materiales o Licencias	3 paquetes de arandelas (30 en total)	Paquetes	Unica vez	\$109.00	S/.,414.20	S/.,414.20
	Caja de herramientas	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
	Tecnico Soldador	Servicios	12	Hr (horas)	Unica vez	S/.,23.19	S/.,23.19	S/.,278.28
Implementar un sistema de enfriamiento para la pantalla de control, asegurando temperaturas adecuadas	Diseñador en AutoCad	Servicios	6	Hr (horas)	Unica vez	S/.,22.24	S/.,22.24	S/.,133.44
	Sistema de refrigeración Cooler CPU Liquid 240 ASUS	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/.,1,014.50	S/.,1,014.50	S/.,1,014.50
	TERMOSTATO – PANTALLA DIGITAL	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/.,35.00	S/.,35.00	S/.,35.00
	Herramientas de montaje	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
	Técnico de mantenimiento	Servicios	8	Hr (horas)	Unica vez	S/.,14.83	S/.,14.83	S/.,118.64
Adoptar un sistema de reinicio rápido, que permita el reinicio del software de manera automática ante un congelamiento	Microcontrolador industrial PIC18F4550	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/.,58.00	S/.,58.00	S/.,58.00
	Licencia de Software	Equipos , Materiales o Licencias	Gratis	Licencia	Licencia anual	-	-	0
	Ingeniero de Sistemas	Servicios	24	Hr (horas)	Unica vez	S/.,38.83	S/.,38.83	S/.,931.92

Elaboración Propia

Tabla 39. Costos al detalle de la mejora enfocada en la Rotocolor

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Instalar un sistema de calefacción cerca para mantener la temperatura óptima del rodillo	Calefactor industrial Tubular 2000	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	36.95 €	S/147.80	S/147.80
	TERMOSTATO – PANTALLA DIGITAL	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/35.00	S/35.00	S/35.00
	Cables de alta resistencia termica ÖLFLEX HEAT 260 SC	Equipos , Materiales o Licencias	10	m (metros)	Unica vez	3.20 €	S/12.81	S/128.10
	Cajas de herramientas	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
Implementar un pequeño motor de modo que el rodillo siempre se mantenga en movimiento	Técnico de instalación	Servicios	10	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/135.00
	MOTOR ELÉCTRICO MONOFASICO DE 0.5 HP 1750RPM	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/495.90	S/495.90	S/495.90
	Sistema de transmisión	Equipos , Materiales o Licencias	1	Poleas , correas y engranajes variados	Unica vez	S/70.00	S/70.00	S/70.00
	Controlador De Velocidad De Motor 5a 150w	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/45.00	S/45.00	S/45.00
Añadir un juego de escobillas previo a la entrada al Rotocolor	Técnico de instalación	Servicios	10	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/135.00
	Juego de cepillos giratorios	Equipos , Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/35.24	S/35.24	S/70.48
	Juego de cepillos cilindricos en espiral	Equipos , Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/200.00	S/200.00	S/400.00
	Estructura y soporte de metal	Equipos , Materiales o Licencias	4	Unidad	Unica vez	S/9.90	S/9.90	S/39.60
Establecer un Checklist para la correcta calibración del rodillo	Micromotor DC N20 12V/100RPM	Equipos , Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/50.00	S/50.00	S/100.00
	Técnico de instalación	Servicios	12	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/162.00
	Hojas para imprimir con checklist impreso para la calibración	Equipos , Materiales o Licencias	2	Paquetes de 500 Hojas	Anual	S/11.40	S/11.40	S/22.80
	Sujetapapeles de madera	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidad	Unica vez	S/5.20	S/5.20	S/15.60
Reemplazar los soportes actuales por soportes más duraderos y modernos	Lapiceros	Equipos , Materiales o Licencias	1	Caja de 50	Anual	S/29.80	S/29.80	S/29.80
	Soportes de alta resistencia y durabilidad	Equipos , Materiales o Licencias	1	Par de soportes	Unica vez	\$250.00	S/950.00	S/950.00
	Arandela antirodamiento de goma absorbente	Equipos , Materiales o Licencias	2	Unidad	Anual	S/23.05	S/23.05	15.02
	Técnico de instalación	Servicios	8	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/108.00
Instalar un sistema de monitoreo que registre los usos de cada cuchilla , e implementar cambios más continuos	DM11-6H Contador Electronico Digital de 6 Digitos	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/29.20	S/29.20	S/29.20
	Lámpara de señal con luz Roja y Verde Isure	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/90.59	S/90.59	S/90.59
	Mini sirena de Motor MS-190	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/42.37	S/42.37	S/42.37
	Sensor de presión piezoeléctrico PVDF	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	\$5.00	S/19.00	S/19.00
	Técnico de instalación	Servicios	14	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/189.00

Elaboración Propia

Tabla 40. Costos al detalle de la mejora enfocada en la Multiroll

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Ajustar los parámetros de la máquina Checkpoint con mayor frecuencia, para asegurar que rompa correctamente todas las piezas	Herramientas de Ajuste	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
	Tablet para el registro de parámetros	Equipos, Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	133.00 €	S/532.00	S/532.00
	Técnico del área de mantenimiento	Servicios	1	Hr (horas)	La empresa ya cuenta con este puesto contratado	-	-	0
Ajustar la configuración de la máquina para minimizar el estrés en el rodillo	Lubricante LGMT 3/1	Equipos, Materiales o Licencias	25	Latas de 1kg	Anual	S/115.00	S/115.00	S/2,875.00
	Caja de herramientas	Adquisiciones Propias	1	Unidad	La empresa ya cuenta con estas	-	-	0
	Técnico del área de mantenimiento	Servicios	1	Hr (horas)	La empresa ya cuenta con este puesto contratado	-	-	0
Cambiar los rodillos actuales por rodillos de un material más resistente	Rodillos de alta resistencia	Equipos, Materiales o Licencias	2	Rodillos	Unica vez	S/1,500.00	S/1,500.00	S/3,000.00
	Técnico de instalación	Servicios	8	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/108.00
Implementar un sistema de ajuste automático de la altura del rodillo, en base al sensor de luz aplicado previamente	Soporte ajustable motorizado para el rodillo	Equipos, Materiales o Licencias	1	Juego de soporte	Unica vez	S/715.00	S/715.00	S/715.00
	Motor integrado de circuito cerrado Nema23	Equipos, Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/185.91	S/185.91	S/185.91
	Técnico de instalación	Servicios	16	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/216.00
Añadir un dispositivo de limpieza previo a la entrada del rodillo, con cabezas de escobillas	Juego de cepillos giratorios	Equipos, Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/35.24	S/35.24	S/70.48
	Juego de cepillos cilíndricos en espiral	Equipos, Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/200.00	S/200.00	S/400.00
	Estructura y soporte de metal	Equipos, Materiales o Licencias	4	Unidad	Unica vez	S/9.90	S/9.90	S/39.60
	Micromotor DC N20 12V/100RPM	Equipos, Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/50.00	S/50.00	S/100.00
	Técnico de instalación	Servicios	12	Hr (horas)	Unica vez	S/13.50	S/13.50	S/162.00

Elaboración Propia

Pilar de Mantenimiento Autónomo

Para este pilar, se ha considerado los costos asociados a los 4 pasos implementados parte del Mantenimiento Autónomo, que son las del establecimiento del Checklist, establecimiento de una rutina de limpieza, implementación de las etiquetas naranjas, y del tablero Kanban.

La mayoría de los costos se fue en la adquisición de los materiales, especialmente de los EPP's para la rutina de limpieza, y en las etiquetas, pues se buscó imprimir un volumen alto y considerable de estas, para asegurar que siempre haya en stock para los operarios. Dado que estas son actividades que se realizarán de forma rutinaria, es que estos costos caen como costos de capital de trabajo, y tendrá la empresa que incurrir en estos de forma anual

La inversión total de este pilar fue de S/.41,859.71, equivalente al 54.2% del total de la inversión en TPM, y un capital de trabajo de S/.39,005.73, un monto considerable que deberá ser desembolsado de forma anual.

La tabla 41 muestra a más detalle las inversiones específicas que fueron parte de este pilar.

Tabla 41. Costos al detalle del Mantenimiento Autónomo

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Establecer una Checklist de Mantenimiento Autónomo:	Sujetapapeles de madera	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidades	Unica vez	5.2	5.2	15.6
	Formato del Checklist impreso . de 7 paginas	Equipos , Materiales o Licencias	3450	Unidades	Anual	0.1	0.1	345
	Lapiceros	Equipos , Materiales o Licencias	1	Caja de 50 unidades	Unica vez	29.8	29.8	29.8
	Mameluco Descartable	Equipos , Materiales o Licencias	468	Unidades	Anual	3.8	3.8	1778
	Mascarilla Kn 95	Equipos , Materiales o Licencias	17	Paquete de 200	Anual	29.51	29.51	501.7
	Lentes de protección	Equipos , Materiales o Licencias	50	Unidades	Anual	3.38	3.38	169
	Guantes de latex descartables	Equipos , Materiales o Licencias	36	Cajas de 100 unidades	Anual	28.88	28.88	1040
	Cinturón para herramientas de limpieza	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidades	Unica vez	54.14	54.14	162.4
	Cepillo de limpieza de interiores, fino de Cerdas Suaves	Equipos , Materiales o Licencias	94	Paquetes de 5 cepillos	Anual	3.02	3.02	283.9
	Cepillo de Alambre	Equipos , Materiales o Licencias	54	Unidades	Anual	11.29	11.29	609.7
Ejecución de una rutina de limpieza diaria	Paños de Microfibra	Equipos , Materiales o Licencias	26	Paquete de 50 piezas	Anual	4.94	4.94	128.4
	Cutter	Equipos , Materiales o Licencias	20	Unidades	Unica vez	9	9	180
	Pistola Aspiradora Portátil	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidades	Unica vez	96.25	96.25	288.8
	Llaves ajustables	Equipos , Materiales o Licencias	3	Juegos de llaves	Unica vez	98.07	98.07	294.2
	Destornillador	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidades	Unica vez	13	49.4	148.2
	Spray de Aire comprimido	Equipos , Materiales o Licencias	350	Unidades	Anual	21	21	7350
	Desengrasante en Spray (WD-40)	Equipos , Materiales o Licencias	350	Unidades	Anual	26.4	26.4	9240
	Limpiador multiusos	Equipos , Materiales o Licencias	350	Unidades	Anual	14.9	14.9	5215
	Limpiador de vidrio	Equipos , Materiales o Licencias	350	Unidades	Anual	11.5	11.5	4025
	Estación de limpieza móvil	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidades	Unica vez	431	431	1293
Implementar un sistema de tarjetas Naranja	Tarjetas naranjas Impresas	Equipos , Materiales o Licencias	4000	Unidades	Anual	0.5	1.9	7600
	Hilo de Nylon Elastico	Equipos , Materiales o Licencias	10	Unidades	Anual	6	24	240
Implementacion de un tablero Kanban	1 Pizarra que servira como tablero kanban	Equipos , Materiales o Licencias	1	Pizarra	Unica vez	442	442	442
	Set de Post its	Equipos , Materiales o Licencias	15	Paquetes de 250	Anual	32	32	480

Elaboración Propia

Pilar de Mantenimiento Planificado

La inversión en este pilar fue netamente de capital de trabajo en el inicio del primer año de operaciones de mejora. Esto, debido a que los costos de esta mejora están asociados a las visitas de los técnicos extranjeros especialistas de forma cíclica, siendo 4 visitas en total de forma anual, 1 por trimestre. Por esto, este monto, que fue equivalente a S/.116 280,00, tendrá que ser desembolsado cada año, para asegurar cubrir todos los costos y viáticos de las visitas, asegurando que la presencia de los especialistas nos pueda ayudar a mantener la maquinaria en estado óptimo, y con el menor porcentaje de fallas y número de paradas súbitas.

La tabla 42 muestra, a detalle, las inversiones asociadas a la implementación del mantenimiento planificado.

Tabla 42.Monto de inversión asociado al Mant. Planificado

Concepto	Visita de Tecnico Español especialista en Kerajet	Visita de Tecnico Brasilerero especialista en Multiroll	Visita de Tecnico Brasilerero especialista en Decorado y Esmaltado
Pasajes Aéreos (ida y vuelta)	\$ 1,200.00	\$ 800.00	\$ 800.00
Alojamiento (5 noches)	\$ 750.00	\$ 750.00	\$ 750.00
Transporte Local	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00
Alimentación (5 días)	\$ 250.00	\$ 250.00	\$ 250.00
Viáticos Adicionales	\$ 300.00	\$ 300.00	\$ 300.00
Bonificaciones	\$ 150.00	\$ 100.00	\$ 100.00
Costo por Visita (Dolares)	\$ 2,850.00	\$ 2,400.00	\$ 2,400.00
Total Anual (4 visitas)	\$ 11,400.00	\$ 9,600.00	\$ 9,600.00
Total Anual en Soles	S/ 43,320.00	S/ 36,480.00	S/ 36,480.00

Elaboración Propia

5.1.2 Costos de implementación asociados al SMED

En el caso de la implementación de la metodología SMED, el costo total de inversión fue S/.71,215.27 antes del inicio de operaciones. Tal como se observa en la tabla 43, no será necesario desembolsar capital de trabajo adicional de forma anual, pues la inversión solo requiere inversión inicial.

Como se observa en la tabla 44, los costos se dividieron en dos marcados grupos: la adquisición de nuevas herramientas y equipos que permitirán realizar el proceso de lavado de campana de forma mucho más rápida, y la inversión en horas-hombre necesarias para las capacitaciones, donde se necesita tanto la presencia del especialista, y todos los operarios.

En cuanto a la adquisición de nuevos equipos, la mayor inversión se destinó a las hidro lavadoras modelo Falcon MHP 0818, que cuentan con una presión de 2160 psi. Estos equipos no solo son eficientes en el uso del agua, sino que también permiten una limpieza más efectiva al generar una mayor presión, lo que reduce el consumo de agua sin comprometer el rendimiento.

Por otro lado, en la capacitación, se ha tomado que la capacitación tendrá una duración de 12 horas, horas las cuales la empresa tendrá que hacerse cargo de la paga, tanto para el supervisor como para los operarios.

Tabla 43. Monto de Inversión total de Implementación del SMED

Mejora	Monto	
	Monto de Inversión	Monto de Capital de Trabajo Asociado
SMED	S/ 71,215.27	S/ -

Elaboración Propia

Tabla 44. Costos al detalle de la Implementación del SMED

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Reemplazar equipos o tener equipos de repuesto	Hidrolavadora	Equipos , Materiales o Licencias	4	Unidad	Unica vez	\$4,211.86	S/.16,005.07	S/.64,020.27
	Bandeja	Equipos , Materiales o Licencias	4	Unidad	Unica vez	S/.1,500.00	S/.1,500.00	S/.6,000.00
	Manguera	Equipos , Materiales o Licencias	4	Unidad	Unica vez	S/.15.00	S/.15.00	S/.60.00
Enseñar la nueva forma de hacer el proceso	Supervisor de línea de esmalte	Tiempos	12	Hr (horas)	Unica vez	S/.14.58	S/.14.58	S/.175.00
	Operadores	Tiempos	144	Hr (horas)	Unica vez	S/.6.67	S/.6.67	S/.960.00

Elaboración Propia

5.1.3 Costos de implementación asociados a las 5S

El monto total de inversión fue S/.16,110, y no hay necesidad de invertir en un capital de trabajo anual de manera anual, tal como se observa en la tabla 45. Se espera que, por medio de la disciplina, los operarios logren mantener las inversiones con el paso del tiempo. La mayoría de los gastos fue a muebles o herramientas que ayudarán a mantener el orden y generar una rutina, como estantes o literas para los productos, debidamente rotuladas.

Los costos de implementación de las 5S en la línea de decorado y esmaltado, se han separado según los costos de 3 áreas diferentes de la línea: La implementación en el área de campana, cuyo detalle se presenta en la tabla 46, en el área de máquina de impresión (Kerajet), cuyo detalle se presenta en la tabla 47, y el área de decorado, cuyo detalle de inversión se presenta en la tabla 48. Dentro de cada área, se han dividido los costos por cada concepto o “S” de las 5 que tiene la metodología.

Aunque los gastos en recursos materiales no son elevados, el mayor desafío es el tiempo necesario para implementar las 5S, lo cual puede generar costos recurrentes. Sin embargo, se espera que, con el tiempo, estos costos disminuyan a medida que las prácticas de las 5S se integren a la rutina diaria y el equipo se acostumbre a los nuevos procesos.

Tabla 45.Monto de Inversión asociado a la implementación de las 5S

Mejora	Monto	
	Monto de Inversión	Monto de Capital de Trabajo Asociado
5S	S/ 16,110.00	S/ -

Elaboración Propia

Tabla 46.Detalles de Costos de las 5S para la Campana

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Organizar	Estante	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 670.00	S/ 670.00	S/ 670.00
	Armario de botas	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 800.00	S/ 800.00	S/ 800.00
Estandarizar	Formato de control	Equipos , Materiales o Licencias	15	Unidad	Unica vez	S/ 25.00	S/ 25.00	S/ 375.00
Disciplina	Supervisor de línea de esmalte	Tiempos	24	Hr (horas)	Unica vez	S/ 14.58	S/ 14.58	S/ 350.00
	Operadores	Tiempos	288	Hr (horas)	Unica vez	S/ 6.67	S/ 6.67	S/ 1,920.00

Elaboración Propia

Tabla 47.Detalles de Costos de las 5S para la Máquina de Impresión

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Limpieza	Aspiradora	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 670.00	S/ 670.00	S/ 670.00
	Líquido limpiador	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 800.00	S/ 670.00	S/ 670.00
Disciplina	Técnico de kerajet	Servicios	8	Hr (horas)	Unica vez	S/ 500.00	S/ 500.00	S/ 4,000.00
	Supervisor de línea de esmalte	Tiempos	24	Hr (horas)	Unica vez	S/ 14.58	S/ 14.58	S/ 350.00
	Operadores	Tiempos	288	Hr (horas)	Unica vez	S/ 6.67	S/ 6.67	S/ 1,920.00

Elaboración Propia

Tabla 48. Detalles de Costos de las 5S para el Área de Decorado

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Organizar	Estante	Equipos , Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/ 670.00	S/ 670.00	S/ 1,340.00
	Mesa de trabajo	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 400.00	S/ 400.00	S/ 400.00
Estandarizar	Formato de control	Equipos , Materiales o Licencias	15	Unidad	Unica vez	S/ 25.00	S/ 25.00	S/ 375.00
Disciplina	Supervisor de línea de esmalte	Tiempos	24	Hr (horas)	Unica vez	S/ 14.58	S/ 14.58	S/ 350.00
	Operadores	Tiempos	288	Hr (horas)	Unica vez	S/ 6.67	S/ 6.67	S/ 1,920.00

Elaboración Propia

5.1.4 Costos de implementación asociados al Jidoka

La implementación de Jidoka en la línea de producción fue de las mejoras que una mayor inversión inicial requirió, debido a la naturaleza de este concepto de Lean Manufacturing. La inversión total al final de esta mejora fue S/.146,141.35, tal como se observa en la tabla 49, más una ventaja es que no se requiere de un Capital de Trabajo Asociado anual.

El concepto busca que las máquinas puedan detectar problemas de forma autónoma, y se detengan automáticamente cuando esto ocurra. Para esto, es necesario invertir en una forma de que la máquina pueda detectar la presencia de estas anomalías, lo cual suele ser a través de la implementación de sensores, además de también la inversión en un sistema de red que conecte estos con la faja transportadora, y cuando detecten un error, den la orden de detener la faja. Todo esto se traduce en grandes inversiones monetarias en la adquisición de sensores y especialistas de implementación de sensores. Estas pueden apreciarse a detalle en las tablas 50, 51 y 52, donde se han separado los costos para cada una de las máquinas.

Tabla 49. Monto de Inversión Asociado a la implementación del Jidoka

Mejora	Monto	
	Monto de Inversión	Monto de Capital de Trabajo
Jidoka	S/ 146,141.35	S/ -

Elaboración Propia

Tabla 50. Costos al detalle de implementar Jidoka para Kerajet

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Implementar un sensor 3D , que detecte las deformaciones, y genere una alarma dado el caso.	Perfilómetro Láser 2D/3D Keyence Serie LJ-X8000	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	\$ 5,800.00	S/ 22,040.00	S/ 22,040.00
	Soporte de metal	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 670.00	S/ 670.00	S/ 670.00
	Tuercas, arandelas y pernos	Equipos , Materiales o Licencias	3	Paquetes de pernos y tuercas (12) Paquetes de arandelas (30)	Unica vez	S/ 6.50	S/ 6.50	S/ 19.50
	PLC (Controlador para el sensor)	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 775.00	S/ 775.00	S/ 775.00
	Luz de alerta roja con buzzer industrial	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 30.76	S/ 30.76	S/ 30.76
	Tecnico en automatización	Servicios	10	Hr (horas)	Unica vez	S/ 21.48	S/ 21.48	S/ 214.80
Implementar un dispositivo de alineación automática (prototipo del dispositivo con chatgpt)	Sistema de rodillos REMATRACK TTX	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidad	Unica vez	\$ 4,900.00	S/ 18,620.00	S/ 55,860.00
	Servo motor electrico Serie A6	Equipos , Materiales o Licencias	3	Unidad	Unica vez	S/ 2,147.39	S/ 2,147.39	S/ 6,442.17
	Set de Varillas metálicas ajustables	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 500.00	S/ 500.00	S/ 500.00
	Tecnico en automatización	Servicios	8	Hr (horas)	Unica vez	S/ 21.48	S/ 21.48	S/ 171.84

Elaboración Propia

Tabla 51. Costos al detalle de implementar Jidoka para Rotocolor

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Instalar un sensor de luz que detecte baldosas con grosor no conforme, permitiendo a un operario retirarlas.	Sensor OMRON ZX-LD100	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	1,478.00 €	S/ 5,912.00	S/ 5,912.00
	Soporte de metal para el sensor	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 540.00	S/ 540.00	S/ 540.00
	Luz de alerta roja con buzzer industrial	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 30.76	S/ 30.76	S/ 30.76
	Interruptor de Boton Verde de Emergencia	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 38.93	S/ 38.93	S/ 38.93
	PLC (Controlador)	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 834.00	S/ 834.00	S/ 834.00
	Tecnico en automatización	Servicios	11	Hr (horas)	Unica vez	S/ 21.48	S/ 21.48	S/ 236.28
Implementar un sensor que verifique la correcta alineación de la cuchilla. (especificar el sensor)	Perfilómetro laser KEYENCE LJ-G015K	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	\$ 629.00	S/ 2,390.20	S/ 2,390.20
	PLC (Controlador)	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 834.00	S/ 834.00	S/ 834.00
	Luz naranja tipo advertencia de señal	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 8.43	S/ 8.43	S/ 8.43
	Tecnico en automatización	Servicios	13	Hr (horas)	Unica vez	S/ 21.48	S/ 21.48	S/ 279.24

Elaboración Propia

Tabla 52. Costos al detalle de implementar Jidoka para Multiroll

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Adquirir un sensor de luz que detecte arcos en las piezas y emita una señal para notificar a los operarios.	Perfilómetro Láser 2D/3D Keyence Serie LJ-X8000	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	\$ 5,800.00	S/ 22,040.00	S/ 22,040.00
	SopORTE de metal	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 670.00	S/ 670.00	S/ 670.00
	Tuercas, arandelas y pernos	Equipos , Materiales o Licencias	3	Paquetes de pernos y tuercas (12) Paquetes de arandelas (30)	Unica vez	S/ 6.50	S/ 6.50	S/ 19.50
	PLC (Controlador para el sensor)	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 775.00	S/ 775.00	S/ 775.00
	Luz de alerta roja con buzzer industrial	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 30.76	S/ 30.76	S/ 30.76
	Tecnico en automatización	Servicios	8	Hr (horas)	Unica vez	S/ 21.48	S/ 21.48	S/ 171.84
	Sensor láser circunferencial SmartRay ECCO 95	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	\$ 3,579.00	S/ 13,600.20	S/ 13,600.20
Aplicar un sensor para detectar abolladuras del rodillo	SopORTE de metal montable	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 369.00	S/ 369.00	S/ 369.00
	Tecnico en automatización	Servicios	10	Hr (horas)	Unica vez	S/ 21.48	S/ 21.48	S/ 214.80
	Sensor OMRON ZX-LD100	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	1,478.00 €	S/ 5,912.00	S/ 5,912.00
Implementar un sistema de ajuste automático de la altura del rodillo, en base al sensor	SopORTE de metal para el sensor	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 540.00	S/ 540.00	S/ 540.00
	Tuercas, arandelas y pernos	Equipos , Materiales o Licencias	3	Paquetes de pernos y tuercas (12) Paquetes de arandelas (30)	Unica vez	S/ 6.50	S/ 6.50	S/ 19.50
	PLC (Controlador para el sensor)	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	S/ 834.00	S/ 834.00	S/ 834.00
	Servo actuador ROBO Cylinder® RCP6 Series	Equipos , Materiales o Licencias	1	Unidad	Unica vez	\$ 775.00	S/ 2,945.00	S/ 2,945.00
	Tecnico en automatización	Servicios	8	Hr (horas)	Unica vez	S/ 21.48	S/ 21.48	S/ 171.84

Elaboración Propia

5.1.5 Costos de implementación asociados al Andon

El costo de implementación en total fue S/17,121.50, como se ve en la tabla 53. Los costos de implementación de la herramienta Andon se dividirán en 3 fases de costos.

La primera es la adquisición de los sensores específicos, con un total de S/11,923,17, tal como se observa en la tabla 54. Se incluyen sensores de presión y flujo de aire en los sopladores, sensores de nivel y presión de agua en la cabina, así como sensores de temperatura y nivel de tinta en la máquina Kerajet. Estos sensores son esenciales para monitorear las condiciones operativas y detectar problemas a tiempo dentro de las máquinas. Además, la instalación de los sensores, que requiere la participación de técnicos electricistas y operadores, tiene un costo adicional de S/1,149.17, lo que cubre el tiempo necesario para la implementación y ajuste de los sistemas.

El sistema de visualización centralizada, que incluye luces de señalización (rojo, amarillo y verde) y cables para conexión, tiene un costo total de S/.3,229.17, como se observa en la tabla 55. Las luces permiten una visualización clara y rápida del estado del proceso para los operarios

Finalmente, la integración de alarmas sonoras, cuyo costo total es S/.1,969.17, complementa el sistema Andon con una señal de alerta inmediata en caso de fallos graves o paradas de producción, para garantizar un rápido tratamiento, lo cual puede ser observado a más detalle en la tabla 56.

Tabla 53. Monto de Inversión asociada a la implementación del Andon

		Monto	
Mejora	Monto de Inversión	Monto de Capital de Trabajo Asociado	
ANDON	S/ 17,121.50	S/	-

Elaboración Propia

Tabla 54. Costo al detalle de los Sensores Específicos para el Andon

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)		Precio unitario (Soles)	Costo Total	
Sensores en sopladores	Sensor de presión de aire	Equipos , Materiales o Licencias	16	Unidad	Unica vez	S/	232.00	S/	232.00	S/ 3,712.00
	Sensor de flujo de aire	Equipos , Materiales o Licencias	16	Unidad	Unica vez	S/	277.00	S/	277.00	S/ 4,432.00
Sensores en cabina de agua	Sensor de nivel de agua	Equipos , Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/	25.00	S/	25.00	S/ 50.00
	Sensor de presión de agua	Equipos , Materiales o Licencias	2	Unidad	Unica vez	S/	215.00	S/	215.00	S/ 430.00
Sensores en Kerajet	Sensores de temperatura	Equipos , Materiales o Licencias	10	Unidad	Unica vez	S/	115.00	S/	115.00	S/ 1,150.00
	Sensores de nivel de tinta	Equipos , Materiales o Licencias	10	Unidad	Unica vez	S/	100.00	S/	100.00	S/ 1,000.00
Instalación de sensores	Técnico electricista	Tiempos	32	Hr (horas)	Unica vez	S/	30.00	S/	30.00	S/ 960.00
	Supervisor de línea de esmalte	Tiempos	2	Hr (horas)	Unica vez	S/	14.58	S/	14.58	S/ 29.17
	Operadores	Tiempos	24	Hr (horas)	Unica vez	S/	6.67	S/	6.67	S/ 160.00

Elaboración Propia

Tabla 55. Costo al detalle de las Torres de Señalización Visual para el Andon

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Implementación de luces rojo, amarillo y verde	Luz de señal industrial	Equipos, Materiales o Licencias	20	Unidad	Unica vez	S/ 80.00	S/ 80.00	S/ 1,600.00
	Cable para conexión	Equipos, Materiales o Licencias	72	Metros	Unica vez	S/ 10.00	S/ 10.00	S/ 720.00
Instalación de luces	Técnico electricista	Tiempos	24	Hr (horas)	Unica vez	S/ 30.00	S/ 30.00	S/ 720.00
	Supervisor de línea de esmalte	Tiempos	2	Hr (horas)	Unica vez	S/ 14.58	S/ 14.58	S/ 29.17
	Operadores	Tiempos	24	Hr (horas)	Unica vez	S/ 6.67	S/ 6.67	S/ 160.00

Elaboración Propia

Tabla 56. Costo al detalle de las Alarmas Sonoras para el Andon

Mejora	Recurso	Tipo de adquisiciones	Cantidad	Unidad	Frecuencia de compra	Precio unitario (moneda original)	Precio unitario (Soles)	Costo Total
Implementación de alarmas	Alarma	Equipos, Materiales o Licencias	S/ 20.00	Unidad	Unica vez	S/ 50.00	S/ 50.00	S/ 1,000.00
	Cable para conexión	Equipos, Materiales o Licencias	S/ 30.00	Metros	Unica vez	S/ 10.00	S/ 10.00	S/ 300.00
Instalación de alarmas	Técnico electricista	Tiempos	S/ 16.00	Hr (horas)	Unica vez	S/ 30.00	S/ 30.00	S/ 480.00
	Supervisor de línea de esmalte	Tiempos	S/ 2.00	Hr (horas)	Unica vez	S/ 14.58	S/ 14.58	S/ 29.17
	Operadores	Tiempos	S/ 24.00	Hr (horas)	Unica vez	S/ 6.67	S/ 6.67	S/ 160.00

Elaboración Propia

5.2 Ahorros generados por las mejoras

El siguiente paso para armar el flujo de caja del proyecto, será calcular el ahorro generado por las mejoras implementadas. Este ahorro primero será calculado en minutos, gracias a la información que poseemos de los tiempos actuales de parada en los meses recientes, podemos estimar con precisión el impacto que tendrán estas mejoras, debido a que buscan atacar directamente causas de paradas muy específicas. Al aplicar estas mejoras, consideramos que estos tiempos de parada se reducen o eliminan casi en su totalidad, lo que deja a la empresa con un mayor tiempo productivo, pues puede aprovechar ese tiempo en seguir produciendo. Por ejemplo, si durante el transcurso del año, la máquina Kerajet tuvo asociado aproximadamente 900 minutos de parada anuales relacionados a paradas por congelamiento de la pantalla o el sistema, la mejora enfocada de un sistema de reinicio rápido elimina completamente esta posibilidad de falla, dándole a la máquina 900 minutos adicionales de producción ininterrumpida. Posteriormente, se asociará estos minutos adicionales con la capacidad de m² por minutos que tiene la empresa, y el costo de m² que tienen los productos

de la empresa en el mercado, para poder generar una idea de los ingresos adicionales que la empresa podría tener, en caso aplicarán estas mejoras.

La tabla 57 muestra la capacidad de producción de m² por minutos de la fábrica, para la cual se ha usado el conglomerado de m² de baldosas enviados al almacén durante el año 2023, que, convertido a minutos, nos da una idea de la producción de m² por minuto de baldosa que ha tenido la empresa. La capacidad de producción fue de 5,220,241.67 m² de Baldosas producidas, entre los 5 formatos disponibles, lo que es equivalente a una producción de 9.93 m² de baldosas por minuto.

Tabla 57. Producción de m² anual por formato

Formato	m2 anuales	m2 /minuto
20x60	99758.88	0.19
30x60	568092.96	1.08
34x34	402806.05	0.77
46x46	3014104.90	5.73
60x60	1135478.88	2.16
SUMA	5220241.67	9.93

Elaboración Propia.

La tabla 58 muestra el cálculo del ingreso adicional que la empresa puede generar a partir de las ventas, comparando el porcentaje de cada formato respecto al volumen de oferta en el mercado y el precio de cada m² disponible en diversas páginas web. Se calcula un precio promedio ponderado del m², descontando el IGV, ya que este porcentaje no va hacia la empresa. El precio promedio por m² es S/.20.86, y tras el descuento del IGV, el ingreso adicional por m² sería S/.17.11

Tabla 58. Precio promedio por m²

Formato	% que representa de la producción	Precio de venta(S/- m2)	% * Precio en mercado
20x60	1.9%	S/ 22.50	S/ 0.43
30x60	10.9%	S/ 21.74	S/ 2.37
34x34	7.7%	S/ 16.90	S/ 1.30
46x46	57.7%	S/ 18.90	S/ 10.91
60x60	21.8%	S/ 26.90	S/ 5.85
Precio Prom (con IGV)			S/ 20.86
Precio Prom (sin IGV)			S/ 17.11

Elaboración Propia

5.2.1 Ahorros generados por la aplicación del TPM

Pilar de Mejora Enfocada

Según la información proporcionada por la empresa, en un periodo de mayo a noviembre, el área de decorado y esmaltado tuvo un total de 48,739 minutos de parada de máquina. Convirtiendo este número en términos anuales, esto es igual a 97,478 minutos de parada de máquina anual. Dentro de estos, de manera anual, la máquina Kerajet tuvo 8418 minutos de parada, la máquina Rotacolor 1,662, y la Multiroll 2,854 por mantenimientos correctivos.

En cuanto al mantenimiento correctivo, se espera que la implementación de las mejoras enfocadas logre una reducción del 35% en los tiempos de parada, lo que generará un tiempo productivo adicional significativo. Esto será posible porque las mejoras, como su nombre lo indica, se centran directamente en abordar los puntos críticos donde las máquinas han mostrado mayores problemas, eliminando estos inconvenientes en su mayoría.

Para la Kerajet, las mejoras se enfocan en solucionar problemas recurrentes como fallas en la comunicación, errores en la toma de datos de los sensores, reinicios y bloqueos de la máquina, así como atascos de piezas. Estos problemas, identificados por los supervisores de línea, han sido causas frecuentes de paradas.

En el caso de la Rotocolor, las mejoras se dirigen a resolver los problemas más comunes de parada, como la formación de grumos en el rodillo y el desgaste de la cuchilla.

Finalmente, para la Multiroll, las mejoras se centran en la solución de atascos de piezas y daños en el rodillo, que también han sido causas recurrentes de paradas.

La tabla 62 nos muestra el total de cuantos minutos la implementación del pilar permite ahorrar, que es 4526.9 minutos al año, lo que es equivalente a 12.40 minutos por día de producción adicional.

Tabla 59. Ingresos adicionales generados por ahorro de tiempo de la Mejora Enfocada

	Tiempo Productivo Adicional Diario (min.)	Tiempo Productivo Adicional Anual (min.)	Incremento en Ingresos por Tiempo Recuperado (S/.)	
Kerajet	21.72	2946.30	S/	500,422.71
Rotacolor	2.17	581.70	S/	98,804.44
Multiroll	2.74	998.90	S/	169,667.80
TOTAL	12.40	4526.90	S/	768,894.95

Elaboración Propia

Pilar de Mantenimiento Autónomo

Actualmente, según la base de datos de la empresa, 12.06 minutos de tiempo de parada de la línea se destinan exclusivamente a la limpieza de las máquinas. Si se traduce este tiempo de parada a una base diaria, esto equivale a 67.02 minutos al día dedicados únicamente a la limpieza. Sin embargo, la nueva propuesta de rutina para el inicio de cada turno está diseñada para optimizar este proceso. Las nuevas rutinas no solo serán más ordenadas, sino que también han sido estructuradas de forma que cada tarea de limpieza dure un máximo de 15 minutos, lo que reducirá el tiempo total dedicado a la limpieza a un máximo de 45 minutos al día, y en muchos casos podría ser incluso menos.

Por otro lado, la implementación de un Checklist de mantenimiento y el uso de etiquetas naranjas ayudarán a detectar y tratar los errores o fallas de manera más rápida. Esto contribuirá directamente a la reducción del tiempo de inactividad o "tiempo vacío". Actualmente, el tiempo de inactividad en la línea de esmaltado y decorado es de 7,263.5 minutos. En un escenario conservador, se estima que la implementación de estas mejoras podría reducir el tiempo de inactividad en un 11%, lo que se traduciría en una reducción de aproximadamente 798.99 minutos al mes.

La tabla 60 muestra como si se proyecta esta mejora a lo largo de un año, el ahorro total de tiempo sería de 8,718.84 minutos anuales, lo que equivale a un ahorro de 23.89 minutos diarios, tiempo que la empresa puede utilizar para aumentar su producción.

Tabla 60. Ingresos adicionales generados por ahorro de tiempo del Mant. Autónomo

	Tiempo Productivo Adicional Diario (min.)	Tiempo Productivo Adicional Anual (min.)	Incremento en Ingresos por Tiempo Recuperado (S/.)
Kerajet	21.72	7927.20	S/ 1,346,471.67
Rotacolor	2.17	791.60	S/ 134,457.61
TOTAL	23.886	8718.804	S/ 1,480,929.28

Elaboración Propia.

Pilar de Mantenimiento Planificado

En el caso del mantenimiento planificado, se espera que las revisiones constantes a las máquinas ayuden a mantenerlas en su estado óptimo, lo que evitará posibles fallas y contribuirá a mantener la productividad sin interrupciones. Este calendario de mantenimiento, respaldado por la participación de técnicos extranjeros especializados, tiene como objetivo reducir los tiempos de parada en un 9%.

Cada tipo de técnico extranjero aportará su experiencia y conocimientos específicos para abordar problemas críticos en las máquinas. Por ejemplo, el técnico español especialista en Kerajet se enfocará en la optimización y revisión de los componentes clave de la máquina Kerajet, asegurando que los sistemas de impresión y los sensores funcionen con la mayor precisión, lo que evitará paradas imprevistas y mejorará la eficiencia operativa.

Por otro lado, el técnico brasileño especialista en Multiroll se encargará de revisar los rodillos, los sistemas de alimentación de material y los ajustes automáticos, asegurando que estos sistemas no fallen debido a desgaste o mal ajuste, lo que contribuirá a reducir las paradas por mantenimiento correctivo y optimizar el tiempo de producción.

Finalmente, el técnico brasileño especialista en Decorado y Esmaltado se enfocará en la mejora de los procesos de esmaltado, asegurando que las máquinas de decorado y esmaltado funcionen de manera eficiente y sin interrupciones

La tabla 61 muestra cómo, gracias a las visitas frecuentes, se espera se pueda tener un adicional de 8,773.11 minutos para la producción de manera anual, lo que es equivalente a 24.04 minutos por día, lo que nos da un incremento de S/. 1,490,153.41.

Tabla 61. Ingresos adicionales generados por ahorro de tiempo del Mant. Planificado

	Tiempo Productivo Adicional Diario (min.)	Tiempo Productivo Adicional Anual (min.)	Incremento en Ingresos por Tiempo Recuperado (S/.)
Mantenimiento Planificado	24.04	8773.11	S/ 1,490,153.41

Elaboración Propia

En total, los ahorros generados por la aplicación del Mantenimiento Productivo Total fueron los que se muestran en la tabla 62.

Tabla 62. Ingresos adicionales generados por aplicación de TPM

Ahorro por Mejora	Ahorro en min.(Diario)	Ahorro en min.(Anual)	Incremento en Ingresos Anuales por Tiempo Recuperado (S/.)
TPM	60.33	22018.72	S/ 3,739,982.35
Ahorro del Pilar Mejora Enfocada	12.40	4526.90	S/ 768,914.95
Ahorro Pilar Mantenimiento Autonomo	23.89	8718.80	S/ 1,480,929.28
Ahorro Pilar Mantenimiento Planificado	24.04	8773.02	S/ 1,490,138.12

Elaboración Propia

5.2.2 Ahorros generados por la aplicación del SMED

Inicialmente, el proceso de lavado de la campana tenía una duración de 28.3 minutos, pero tras la implementación de la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die), se logró reducir este tiempo a 9.1 minutos. Esta mejora se alcanzó mediante la externalización de actividades internas y la inversión en equipos nuevos, lo que permitió a los operarios realizar la limpieza de manera más eficiente y en un menor tiempo. Como resultado, se obtuvo un ahorro de 19.2 minutos por lavado. La tabla 63 nos muestra cómo, considerando que se realiza un lavado por turno en cada línea de producción, esto se traduce en una reducción de 113.62 minutos diarios en el total de tiempo empleado en la limpieza, lo que mejora la productividad de las líneas al reducir los tiempos muertos durante el turno.

Tabla 63. Ingresos adicionales generados por aplicación de SMED

Ahorro por Mejora	Ahorro en min.(Diario)	Ahorro en min.(Anual)	Incremento en Ingresos Anuales por Tiempo Recuperado (S/.)
SMED	113.62	41472.00	S/ 7,044,211.46

Elaboración Propia

5.2.3 Ahorros generados por la aplicación de las 5S

Esta mejora tiene como objetivo reducir el tiempo de vacío mediante una limpieza más ordenada y eficiente, eliminando pérdidas de tiempo y estableciendo una rutina memorizada en la que cada herramienta y material tiene su espacio asignado. Esto permite que los operarios se concentren más fácilmente en la siguiente tarea a realizar, minimizando el tiempo que pasan fuera de sus actividades productivas. Como resultado, podrán dedicar más tiempo a la operación de la línea, mejorando la eficiencia general.

Entre mayo y noviembre, el tiempo de vacío en el área de decorado fue de 3.513 minutos, lo que equivale a 7.026 minutos anuales. Como se observa en la tabla 64, implementando esta metodología, se espera reducir este tiempo en un 26%, lo que representaría un ahorro de 1,826.76 minutos anuales. Este tiempo ganado se traducirá en 5 minutos adicionales diarios que podrán ser dedicados a la producción.

Tabla 64. Ingresos adicionales generados por aplicación de 5S

Ahorro por Mejora	Ahorro en min.(Diario)	Ahorro en min.(Anual)	Incremento en Ingresos Anuales por Tiempo Recuperado (S/.)	
5S	5.01	1826.76	S/	310,283.65

Elaboración Propia

5.2.4 Ahorros generados por la aplicación del Jidoka

Se espera que la implementación del Sistema Jidoka genere una reducción considerable en los tiempos de parada de las máquinas Kerajet, Rotocolor y Multiroll. Este sistema será clave para detectar las posibles fallas antes de que ocurran, identificando piezas o elementos defectuosos que podrían generar problemas en el proceso de producción. Al detener estas piezas antes de que ingresen al sistema, se eliminará el escenario de paradas causadas por fallas como los arcos en las piezas, que suelen detener las máquinas y requerir mantenimiento correctivo.

De los tiempos de parada actuales, se estima que el 50% se dedica a mantenimiento productivo, un tiempo que se eliminará con la implementación del Sistema Jidoka. La tabla 65 muestra el resultado que se espera, que es obtener un tiempo productivo adicional de 6.467 minutos anuales, lo que equivale a 17.717 minutos adicionales por día, mejorando significativamente la eficiencia operativa de las máquinas y aumentando la disponibilidad para la producción.

Tabla 65. Ingresos adicionales generados por aplicación del Jidoka

	Tiempo Productivo Adicional Diario (min.)	Tiempo Productivo Adicional Anual (min.)		Incremento en Ingresos por Tiempo Recuperado (S/.)
Kerajet	11.53	4209	S/	714,918.16
Rotacolor	2.28	831	S/	141,149.20
Multiroll	3.91	1427	S/	242,382.57
TOTAL	17.72	6467	S/	1,098,449.93

Elaboración Propia

5.2.5 Ahorros generados por la aplicación del Andon

En el área de decorado, se detectaron 19.831 minutos de parada durante el último año, exclusivamente debido a mantenimiento correctivo no planificado, generado por fallas inesperadas en las máquinas. Se espera que la implementación del sistema Andon contribuya a una reducción del 6% en estos tiempos de parada. El sistema Andon permite una detección temprana de los problemas mediante alertas visuales y sonoras, lo que facilita la identificación rápida de las fallas y permite que los operarios y supervisores actúen de manera inmediata para corregir los problemas antes de que se conviertan en fallas graves que requieran paradas prolongadas.

Gracias a su capacidad para agilizar la respuesta ante problemas operativos, la tabla 66 muestra el tiempo que se estima poder ahorrar con el sistema Andon, el cual podría reducir los tiempos de parada en 1,189.86 minutos anuales, lo que equivale a 3.26 minutos diarios.

Tabla 66. Ingresos adicionales generados por aplicación de Andon

Ahorro por Mejora	Ahorro en min.(Diario)	Ahorro en min.(Anual)		Incremento en Ingresos Anuales por Tiempo Recuperado (S/.)
ANDON	3.26	1189.86	S/	202,103.24

Elaboración Propia

5.3 Flujo de caja del Proyecto

Tras realizar el análisis de costos de proyecto, el monto total de inversión inicial fue de S/.327,825.19, y el capital de trabajo necesario para mantener la mejora de manera anual es S/.158,259.43.

Por otro lado, tras el análisis de ahorros asociados a las mejoras, los ingresos adicionales asociados al tiempo recuperado por la reducción de parada son de S/.12,395,030.64 anuales.

Para poder realizar el flujo de caja del proyecto, se evaluará en un horizonte de tiempo de 5 años, se usará la técnica del COK, Costo de Oportunidad de Capital, ya que permite considerar el costo de no invertir los recursos en otras alternativas de inversión con un retorno similar. Este enfoque proporciona una tasa de descuento que refleja el riesgo y la rentabilidad esperada de las inversiones alternativas, lo que asegura que el análisis del proyecto sea más realista y tenga en cuenta las oportunidades de inversión disponibles en el mercado.

La fórmula para calcular este concepto es la siguiente:

$$\text{Costo de Oportunidad de Capital (COK)} = Rf + \beta_{\text{proyecto}} * (Rm - Rf) + RP_{\text{País}}$$

Los parámetros que usaremos para calcular el COK están a continuación, en la tabla 67, junto con la fuente de origen de donde se recuperó cada concepto.

Tabla 67. Conceptos utilizados para calcular el Costo de Oportunidad

Concepto	Valor (%)	Fuente
Rf(Tasa libre de riesgo de Perú)	6.32%	Ministerio de Economía y Finanzas - Bonos Soberanos (2024)
Rm-Rf(Prima por riesgo de mercado)	5.97%	Maket Risk Premium - Wealthy Education (2024)
Riesgo País β desapalancado	1.77%	Gestión (2024)
(sector materiales de construcción)	1.16	NYU Stern(2024)
Relación Deuda (D) / Patrimonio (P) para sector materiales de construcción	0.18	NYU Stern(2024)
Impuesto a la Renta	29.50%	SUNAT (2024)

Elaboración Propia

El primer paso es hallar el β del proyecto, el cual es igual a la beta del sector materiales de construcción desapalancado (β desapalancado) multiplicado por el factor de apalancamiento, el cual se calcula sumando 1 a la proporción de deuda (D) sobre el valor de la empresa (P), multiplicado por 1 menos la tasa impositiva ($1 - T$). Esta ecuación nos da que el β del proyecto es igual a 1.308.

Reemplazando estos valores en la fórmula original, tenemos que el COK es igual a 15.90%, lo que significa que el retorno mínimo del proyecto para que sea rentable debe ser mayor o igual a este, para que el proyecto sea considerado como una inversión viable, considerando alternativas en el sector con una inversión de riesgo similar.

Con esto en mente, se armó el flujo de caja con un horizonte de 5 años en mente. La tabla 68 nos muestra el flujo.

Tabla 68. Flujo de caja para 5 años

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos						
Ingreso adicional generado por la mejora		S/.12,395,030.64	S/.12,846,166.37	S/.13,052,668.49	S/.13,262,490.14	S/.13,475,684.67
Costos						
Costo de Implementación	S/.327,825.19					
Capital de Trabajo asociado a las mejoras		S/.158,259.43	S/.158,259.43	S/.158,259.43	S/.158,259.43	S/.158,259.43
Gasto de depreciación de las mejoras		S/.52,983.96	S/.52,983.96	S/.52,983.96	S/.52,983.96	S/.0.00
Utilidad Operativa		S/.12,183,787.25	S/.12,634,922.98	S/.12,841,425.10	S/.13,051,246.75	S/.13,317,425.24
Impuesto a la renta		S/.3,594,217.24	S/.3,727,302.28	S/.3,788,220.41	S/.3,850,117.79	S/.3,928,640.45
Utilidad Incremental	-S/.327,825.19	S/.8,589,570.01	S/.8,907,620.70	S/.9,053,204.70	S/.9,201,128.96	S/.9,388,784.79

Elaboración propia

De este flujo, se calculó el Valor Actual Neto (VAN), y la TIR (Tasa de Interés de Retorno). El VAN nos servirá para calcular cuánto valor agregado genera nuestro proyecto en términos de valor presente, tomando como tasa de descuento el costo de oportunidad de capital. La TIR, en cambio, nos brindará la rentabilidad promedio que podríamos esperar del proyecto, calculada en función de los flujos de caja.

En cuanto al VAN, el valor obtenido fue de S/29,118,340.86, lo que significa que el proyecto generará un valor neto adicional por este monto, por encima de la inversión inicial, descontando los flujos de caja futuros a su valor presente. Este VAN positivo indica que el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que también genera un retorno que excede el costo de oportunidad del capital, lo que sugiere que es rentable y puede generar valor para los inversionistas.

Respecto a la TIR, el valor calculado de esta es de 26.24%, lo que significa que el proyecto generará un retorno promedio anual del 26.24% sobre la inversión realizada, tal como se observa en la tabla 69. Esta tabla compara el TIR con el costo de oportunidad de capital en el cual es de 15.90%, lo que indica que el proyecto es rentable y ofrece una rentabilidad atractiva en comparación con otras alternativas de inversión con un riesgo similar, por lo que se aconseja a los inversionistas tomar el proyecto.

Tabla 69. VAN y TIR del Proyecto

VAN	S/.29,118,340.86
r(e)	15.90%
TIR	26.24%

Elaboración Propia

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el capítulo presente, se procederá a presentar las conclusiones derivadas del análisis y la implementación de las herramientas de Lean Manufacturing en las líneas de esmaltado y decorado. Asimismo, se proponen una serie de recomendaciones clave para la empresa, con el fin de asegurar la correcta integración y sostenibilidad del proyecto a largo plazo. Estas recomendaciones están orientadas a mejorar la efectividad del sistema implementado, garantizando que las mejoras obtenidas sean duraderas y puedan adaptarse a futuros desafíos en la producción.

6.1 Conclusiones

- Se concluye, a partir del análisis AHP y los reportes de supervisores, que las áreas de Esmaltado y Decorado son las más idóneas para la prueba piloto de herramientas Lean Manufacturing. Ambas áreas destacaron en criterios como reprocesos, automatización e impacto en el producto final, lo que señala claras oportunidades de mejora en eficiencia y calidad. Además, el análisis de tiempos de parada muestra que la sección de decorado presenta altos niveles de inactividad, reforzando la necesidad de optimizar estos procesos con *Lean*.
- Se identificaron los principales problemas en las áreas de Esmaltado y Decorado mediante el análisis de Pareto, la matriz de Ishikawa y la matriz probabilidad-impacto, siendo estos: falta de mantenimiento preventivo, procedimientos no estandarizados, desorden en las áreas de trabajo, falta de experiencia en el manejo de equipos y ausencia de monitoreo de tiempos de preparación. En base a estos problemas, se eligieron las herramientas Lean más adecuadas: TPM para mejorar el mantenimiento preventivo y reducir paradas, Andon para controlar anomalías en tiempo real, 5S para organizar y estandarizar las áreas de trabajo, Jidoka para detectar defectos de forma temprana y SMED para reducir los tiempos de preparación y aumentar la flexibilidad en la producción.
- La propuesta de implementar TPM consistió en 3 pilares: Una mejora enfocada en actualizar aspectos claves de las máquinas principales, en base a un análisis con R Studio, la implementación de una rutina de chequeo diario, y un plan de mantenimiento planificado. El costo total de inversión fue de S/.77,237.07, adicional de un capital de

trabajo anual necesario para mantener las mejoras de S/.158,259.43 a desembolsar. Esto es equivalente al 23.56% de la inversión inicial, y tiene una ratio de ganancias sobre inversión de 21.53 soles de ganancia por cada sol invertido, generando una ganancia de S/.3,739,982.35, posicionándola como una sólida alternativa. Se concluye que sus buenos números la hacen una opción viable para la empresa, pues muestra que ha generado una mejora en la eficiencia operativa a través de la reducción de tiempos de parada, y la prolongación de vida útil de los equipos.

- La implementación de la metodología SMED ha demostrado ser una de las mejoras más rentables, con una ratio de ganancia sobre inversión de 494.57 soles por cada sol invertido, lo que se traduce en un ingreso adicional anual de S/. 7,044,211.46. Este elevado retorno puede atribuirse a que la mejora no se centra tanto en la adquisición de nueva maquinaria, sino en la optimización de los procesos realizados por los operarios. La inversión inicial fue relativamente baja, ya que la clave del éxito radica en la mejora de las rutinas y la motivación de los operarios, lo que generó grandes beneficios sin necesidad de grandes gastos en equipos. Por lo tanto, se concluye que SMED es una mejora esencial para el nuevo modelo de la empresa, ya que acelera el cambio de herramientas y la ejecución de tareas, reduciendo significativamente los tiempos muertos y aumentando la flexibilidad operativa.
- La implementación de 5S, aunque fundamental para mejorar el orden y la estandarización en las áreas de trabajo, ha mostrado un impacto financiero relativamente menor en comparación con las dos mejoras previas, pues con una inversión inicial de S/.16,110.00, genera una ganancia adicional anual de S/.310,283.65, lo que es equivalente a una tasa de ingresos adicionales de 19.26 soles adicionales por sol invertido. Se concluye por lo tanto que, si bien el retorno de inversión es notable, la mayor contribución de la metodología 5S se centra más en beneficios indirectos, como la mejora cultural y la optimización del ambiente de trabajo, que en ganancias directas a través de la productividad operativa. Esto resalta la importancia de 5S no solo en términos financieros inmediatos, sino como un pilar que fomenta una mentalidad de mejora continua, fundamental para el éxito a largo plazo de la empresa.

- Se concluye también que, a pesar de ser la mejora con el más bajo ratio de ingresos adicionales sobre inversión inicial (7.51 soles por sol invertido), el Jidoka sigue siendo una mejora sumamente importante, debido a que es el tercer puesto en ingresos adicionales, con un monto anual de S/.1,098,449.93. Sin embargo, su real importancia es su papel crucial en la mejora de calidad y la prevención de defectos, lo que será de ayuda para mantener los altos estándares de calidad en la empresa. Además, al liberar a los operarios de supervisar constantemente el proceso, optimiza el uso de recursos humanos, incrementando la eficiencia operativa, por lo que concluimos que es clave para garantizar calidad y sostenibilidad a largo plazo en la línea.
- La implantación de un sistema Andon, a pesar de generar los menores ingresos adicionales anuales, generando solo S/.202,103.24 anuales, sigue siendo una herramienta valiosa debido a su bajo costo de inversión, el cual es insignificante respecto a otras mejoras implementadas. Concluimos que esta servirá, similarmente a las 5S, como una inversión estrategia con resultados a largo plazo, pues brindará ventajas significativas respecto a control de calidad, visibilidad operativa, y rápida respuesta ante problemas.
- Tras realizar el análisis económico del proyecto en un horizonte de 5 años, considerando un COK de 15.90%, el VAN fue de S/.29,118,340.86, mientras que la TIR de 26.24%, por lo que se concluye que el proyecto de inversión es rentable, y tiene una TIR considerablemente alta en comparación con proyectos similares del mercado, lo que lo hace atractivo frente a posibles inversores, pero sin ser un valor descabellado o fuera de lo creíble. El VAN positivo confirma que la inversión inicial no solo cubre todos los costos, sino que también genera una ganancia a lo largo de los 5 años.

6.2 Recomendaciones

Para garantizar el éxito en la implementación de las herramientas *Lean Manufacturing*, se recomienda que el personal operativo y de supervisión reciba una capacitación inicial enfocada en los fundamentos de *Lean* y los beneficios de las propuestas planteadas. Esto permitirá una adaptación más rápida y reducirá la resistencia al cambio en las áreas de Esmaltado y Decorado; y así en un futuro, ampliarse a otras áreas dentro de la planta, particularmente en aquellas con altos índices de inactividad o problemas de reproceso.

Es importante desarrollar un sistema de incentivos para el personal, que podría incluir reconocimientos visibles (como cuadros de honor o comunicados internos) y beneficios económicos, premiando los logros alcanzados en términos de reducción de tiempos muertos, mejora en la calidad y optimización del espacio de trabajo.

Se recomienda establecer un plan de monitoreo continuo para evaluar el impacto de herramientas como SMED, TPM, Jidoka, 5S y Andon, asegurando que las mejoras implementadas se mantengan en el tiempo. Las revisiones periódicas de los procesos y el análisis de indicadores clave permitirán ajustar las estrategias cuando sea necesario para maximizar los resultados.

Por último, se recomienda seguir evaluando y ajustando las estrategias de inversión y retorno a medida que el proyecto se expanda a otras áreas de la planta para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.



BIBLIOGRAFÍA

Aris Industrial. (s. f.-a). *¿Quiénes somos?* Aris Industrial.

<https://www.aris.com.pe/nosotros/quienes-somos>

Aris Industrial. (s. f.-b). *Cerámicos*. Aris Industrial.

<https://www.aris.com.pe/unidad-de-negocio/ceramicos>

Aris Industrial - Intranet. (s. f.). *Zona Aris*.

<https://zona.aris.com.pe/home>

Asana. (2024). *Project risks*. Asana.

<https://asana.com/es/resources/project-risks>

Banton, C. (2022). *Assembly Line: Defining the Mass Production Process*. Investopedia

<https://www.investopedia.com/terms/a/assembly-line.asp-0>

Bonilla, E., Díaz, B., Kleeberg, F., & Noriega, M. (2010). *Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas*.

Correa, F. G. (2007). *Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing): Principales Herramientas. Raites*.

<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/raites/article/view/77>

Cummins, F. (2009). *Business Process Management*. En *Elsevier eBooks* (pp. 75-108).

De Negocios, I., & Hernandez, A. (2016). *El control interno contable y fiscal como medida para contribuir a la maximización de los resultados*. *ResearchGate*.

<https://www.researchgate.net/publication/316553823> El control interno contable y fiscal como medida para contribuir a la maximización de los resultados financieros de los negocios The accounting and fiscal internal control as a measure to contribute t

De Los Ángeles García, J. (2021). *Disminución del desperdicio cocido en una planta de cerámica mediante la metodología de los siete pasos* [Tesis de maestría, Universidad Iberoamericana Puebla].

<http://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/5067/Ángeles%20García%20José%20Román%20de%20los.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Feld, W. M. (2000). *Lean manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them*. CRC Press.
- Ferran Soler Gallach, V., Gisbert Soler, V., Pérez Molina, A. I., & Pérez-Bernabeu, E. (2020). Diagrama de parto y *Lean manufacturing*. *Cuadernos de Investigación Aplicada*.
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2013). A literature review of lean manufacturing. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(4), 241-249.
- Helms, M. M., & Nixon, J. (2010). Exploring SWOT Analysis – Where are we now? A review of academic research from the last decade. *Research Gate*.
https://www.researchgate.net/publication/247630801_Exploring_SWOT_analysis_-_where_are_we_now_A_review_of_academic_research_from_the_last_decade
- Hernández, J., & Vizán, A. (2013). *Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación*. Fundación EOL.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (s. f.). To Pull or Not to Pull: What Is the Question? *Manufacturing & Service Operations Management*.
- Inga, K., Coyla, S., & Montoya, G (2010). Metodología 5S. Una revisión Bibliográfica y Futuras Líneas de Investigación. *Qantu Yachay*.
- Kerajet. (s.f.). *Soluciones para cerámica*.
<https://kerajet.com/es/soluciones-para-ceramica/#toggle-id-7>
- Keyence. (s.f.). *LJ-G: Sistema láser 2D de medición*.
<https://www.keyence.com.mx/products/measure/laser-2d/lj-g/>
- Kume, H. (1985). *Statistical Methods for Quality Improvement*. Chapman and Hall/CRC.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=x4PnjSZYzMEC&oi=fnd&pg=PP13&dq=diagrama+de+dispersi%C3%B3n&ots=otTEkvamy8&sig=z7yqnXhg6s6-T9dyrzvMTtVsMP8#v=onepage&q=diagrama%20de%20dispersi%C3%B3n&f=false>
- LaConte Consulting. (2020). How to Calculate the Impact and Probability of Business Risk
<https://laconteconsulting.com/2018/12/02/calculate-impact-and-probability/>

Marín-García, J. A., & Martínez, R. M. (2013). Barreras y facilitadores de la implantación del TPM. *Intangible Capital*, 9(3), 823-853.

<https://doi.org/10.3926/ic.511>

Mohamad, E., Rahman, M. S. A., Ito, T., & Rahman, A. A. A. (2019). Framework of Andon Support System in Lean Cyber-Physical System Production Environment. *Seisan Shisutemu Bumon Koenkai Koen Ronbunshu*, 2019(0), 404.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmemsd/2019/0/2019_404/_pdf/-char/ja

Nantes, E (2019) El método analytic hierarchy process para la toma de decisiones: Repaso de la metodología y aplicaciones. *Investigación Operativa*, 27(46), 54-73. Universidad Nacional del Sur.

Quiroa, M. (2024). Proceso productivo: Qué es, etapas y ejemplos. *Economipedia*.

<https://economipedia.com/definiciones/proceso-productivo.ht>

Peralta, G. (2002). *De la filosofía de la calidad al sistema de mejora continua: 37 actividades para realizarlas en su negocio*. Panorama Editorial.

https://books.google.co.ve/books?id=mKP74KCL9p8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false

Productos de cerámica en Perú | Observatorio de Complejidad Económica. (s. f.).

<https://oec.world/es/profile/bilateral-product/ceramic-products/reporter/per>

Quezada, C., & Salamea, G. (2016). El Jidoka y Kanban dentro de las Pymes.

Rajadell, M. & Sánchez, J (2010). *Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad*. Ediciones Díaz de Santos.

Rajadell, M. (2021). *Lean manufacturing: Herramientas para producir mejor*. Ediciones Díaz de Santos.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=40VIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=lean+manufacturing+herramientas+&ots=evHGkmfbIe&sig=7qLW0NbyX4kEq_sjcSJ0FRX40_k#v=onepage&q=lean%20manufacturing%20herramientas&f=false

Remar Soluciones. (s.f.). *Carro clásico compacto para camarera*.

<https://www.remarsoluciones.pe/producto/carro-clasico-compacto-para-camarera/>

Rodríguez, C. (2011). ¿Cómo construir una matriz de riesgo operativo? *Revista Ciencias Económicas*, 1(29), 629-635

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/view/7061/6746>

Romero, E & Díaz (2010). El uso del diagrama causa-efecto en el análisis de casos. *Revista RLEE*, 40(3-4),127-142.

<https://rlee.iberomex.mx/index.php/rlee/article/view/344/954>

Rother, M. y Shook, J. (1998). *Learning to see: Value stream mapping to add value and eliminate muda*, Massachusetts. Lean Enterprise Institute.

Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1).

Singh, M., & Rathi, R. (s. f.). A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(2), 622-664.

Suarez Barraza, M. F. (2007). *El kaizen/ the Kaizen*. Panorama Editorial.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=l3FXNs-q_CYC&oi=fnd&pg=PA11&dq=kaizen&ots=O4kFTFYD&sig=sw5SgbFlznVeCRkpMh7whT2u8k8#v=onepage&q=kaizen&f=false

Suzuki, T. (1994). *TPM en industrias en proceso*. Productivity Press.

Torres, C. E. (2023). ¿Es realmente factible establecer frecuencias para inspecciones de mantenimiento predictivo? *Power-MI*.

<https://power-mi.com/es/content/%C2%BFes-realmente-factible-establecer-frecuencias-para-inspecciones-de-mantenimiento-predictivo>

Vilana, M. (2010). *Fundamentos del Lean Manufacturing. Nota Técnica 3.01*. Escuela de Organización industrial. Recuperado de:

https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/eoi_mbapt_leanmanufacturing.pdf