



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

“Desarrollo de un proyecto de mejora para el incremento de
disponibilidad en la línea de acabado: el caso de una empresa textil en
San Luis Potosí”

Tesis

Que para obtener el grado de:

Maestro en Planeación Estratégica e Innovación

Presenta:

Ing. Cesar Eduardo Castro González

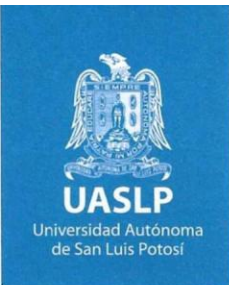
Asesor:

Dra. Karla Ximena Vargas Berrones

San Luis Potosí, S. L. P.

Septiembre de 2025





FACULTAD DE
INGENIERÍA

17 de julio de 2025

**ING. CÉSAR EDUARDO CASTRO GONZÁLEZ
P R E S E N T E.**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por la **Dra. Karla Ximena Vargas Berrones**, Asesora de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Planeación Estratégica e Innovación**, me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 17 de julio del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"Desarrollo de un proyecto de mejora para el incremento de disponibilidad en la línea de acabado: el caso de una empresa textil en San Luis Potosí"

Introducción.

1. La industria textil y sus procesos de lavado
2. Tecnologías en los procesos de lavado de telas de alto rendimiento
3. Metodología seis sigma esbelta
4. Implementación y análisis del proyecto de mejora

Conclusiones

Referencias

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

A T E N T A M E N T E

**DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVAN
DIRECTOR**



UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION

www.uaslp.mx

Ccp. Archivo
-bvlg

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria • CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al39
fax (444) 826 2336

"1945-2025: 80 años formando profesionales de la Ingeniería en beneficio de la sociedad"



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS
POTOSÍ FACULTAD DE INGENIERÍA**

Área de Investigación y Estudios de Posgrado

D E C L A R A C I Ó N

El presente trabajo que lleva por título:

**Desarrollo de un proyecto de mejora, para el incremento de disponibilidad de la
línea de acabado en una empresa de la industria textil.**

se realizó en el periodo que comprende de enero de 2023 a diciembre de 2024 bajo la
dirección del Dra. Karla Ximena Vargas Berrones.

Originalidad

Por este medio aseguro que he realizado el trabajo reportado, y la escritura de este
documento de tesis para fines académicos sin ayuda indebida de terceros y sin utilizar
otros medios más que los indicados. Las referencias e información tomadas directa
o indirectamente de otras fuentes se han definido en el texto como tales y se ha dado
el debido crédito a las mismas.

El autor exime a la UASLP de las opiniones vertidas en este trabajo escrito y asume
la responsabilidad total del mismo.

Este trabajo no ha sido sometido como tesis o trabajo terminal a ninguna otra
institución nacional o internacional en forma parcial o total, exceptuando el caso
cuando existe un convenio específico de doble titulación celebrado entre ambas
instituciones.

Se autoriza a la UASLP para que divulgue este documento para fines académicos.

El autor del trabajo escrito, Cesar Eduardo Castro González

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres que siempre me han brindado su apoyo económico y moral en los proyectos personales a lo largo de mi vida profesional, han sido un pilar y fuente de motivación para lograr mis objetivos, con ellos he aprendido a nunca rendirme y salir adelante ante las adversidades.

A mi esposa, quien me motivo a tomar la decisión de estudiar un posgrado siempre con actitud positiva, al largo de estos 2 años conté con todo su expertiz para el desarrollo de mi tesis, sin ella esto hubiese sido más complicado de lograr. Ella es un ejemplo claro de éxito en el rubro de investigación.

A mi tutor, estoy sumamente agradecido por su dedicación y paciencia a largo de este tiempo, también hago un especial agradecimiento al Dr. Héctor Méndez, quien también fue un elemento importante en el desarrollo de la tesis sin sus consejos y guía me hicieron más fácil el desarrollo de este.

A mis compañeros que en algún momento me ayudaron a sacar a delante los distintos retos a lo largo del posgrado, el trabajo en equipo me ayudo a tener un mejor desempeño. De todo corazón, agradezco a todas las personas que estuvieron en este proceso desde administrativos, docentes, amigos y por último a la empresa donde laboro quienes me brindaron los apoyos económicos y de tiempo para lograr terminar el posgrado.

Índice de contenido

Siglarío	9
Introducción.....	10
Capítulo 1: La industria textil y sus procesos de lavado	11
1.1 Antecedentes	11
1.2 Problemática.	16
1.3 Justificación	21
1.4 Objetivos e hipótesis	22
1.4.1 Objetivo General	22
1.4.2 Objetivos específicos.....	22
1.4.3 Hipótesis.....	22
1.5 Alcance	23
Capítulo 2: Tecnologías en los procesos de lavado de telas de alto rendimiento.....	24
2.1 Mecánica de fluidos	24
2.1.1 Caudal en tuberías	24
2.1.2 Presión	25
2.1.3 Viscosidad de los fluidos.....	26
2.1.4 Ecuación de continuidad.....	26
2.2 Tecnologías para el calentamiento de agua.....	28
2.2.1 Caldera.....	28
2.2.2 Resistencias eléctricas	29
2.2.3 Quemadores de gas.....	31
2.2.4 Energía solar	32
2.3 Manufactura Esbelta.....	35
2.3.1 Ocho Desperdicios.....	35
2.3.2 Mejora continua.....	36
2.3.2.1 5W2H	37
2.3.2.2 Ishikawa.....	38
2.3.2.3 Value Stream Mapping (VSM).....	38
2.3.2.4 Single Minute Exchange of die (SMED).....	39
2.4 Seis sigma esbelto	39

2.4.1 DMAIC.....	40
Capítulo 3: Metodología Seis sigma esbelta.....	42
3.1 Tipo de investigación	42
3.2 Diseño de la investigación.....	42
3.3 Población y muestra	42
3.4 Diseño Experimental	43
3.5 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.	44
3.6 Procesamiento y análisis de datos.	45
Etapa 1: Prueba previa.....	45
Etapa 2: Medición del tiempo del proceso	46
Etapa 3: Análisis de causa raíz del problema.	48
Etapa 4: Plan de mejora.	49
Etapa 5: Revisión del proyecto de mejora.	51
Etapa 6: Implementación del proyecto de mejora.	52
Etapa 7: Evaluación o Prueba posterior.....	53
Capítulo 4: Implementación y análisis del proyecto de mejora.....	57
Etapa 1: Prueba previa.....	57
Etapa 2: Medición del tiempo del proceso	58
Etapa 3: Análisis de causa raíz del problema.	59
Etapa 4: Plan de mejora.....	61
Etapa 5: Revisión del proyecto de mejora.	64
Etapa 6: Implementación del proyecto de mejora.	65
Etapa 7: Evaluación o Prueba posterior.....	67
Conclusiones.....	72
Referencias	77
Anexo A. Registro del tiempo de calentamiento enero-marzo.....	82
Anexo B. Registro del tiempo de calentamiento después de implementado el proyecto de mejora.	92

Índice de Figuras

Figura 1 Pilares WCM, Fuente: (Lizarraga, 2020).....	13
Figura 2 Proceso de manufactura de tela, (Fuente: Elaboración propia); Error! Marcador no definido.	
Figura 3 Diagrama de proceso de acabado de tela, (Fuente: Elaboración propia)	16
Figura 4 Diagrama de Ishikawa de la problemática, (Fuente: Elaboración propia)	18
Figura 5 Registro de tiempo de calentamiento de agua de proceso del último trimestre del año 2023, (Fuente: Elaboración propia)	19
Figura 6 Registro de tiempo por calentamiento de agua de proceso semana del 5 al 10 del año 2024, (Fuente: Elaboración propia)	20
Figura 7 Flujo en tubería	25
Figura 8 Líneas de flujo.....	27
Figura 9 Fluido Ideal	27
Figura 10 Procedimiento de mejora.....	37
Figura 11 Relación de variables del diseño de investigación (fuente: Elaboración propia). 43	
Figura 12 Variables de paro de los equipos (fuente: Elaboración propia)	44
Figura 13 Proceso de análisis de datos (fuente: Elaboración propia).....	45
Figura 14 Formato de registro de tiempos de calentamiento de barcas (fuente: Elaboración propia).....	45
Figura 15 Gráfico de líneas por eventos de calentamiento de barcas (fuente: Elaboración propia).....	46
Figura 16 Modelo de mapeo de procesos VSM, Fuente: (AndesLean, 2023).....	47
Figura 17 Diagrama de Ishikawa, Fuente: Elaboración propia	48
Figura 18 Storyboard del proyecto de mejora, Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 19 TIR y VAN del proyecto de mejora, Fuente: Elaboración propia	52
Figura 20 Diagrama de Gantt del proyecto, Fuente: Elaboración propia	52
Figura 21 Mediciones previas y posteriores del proyecto de mejora; Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 22 Prueba T Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 23 Selección de muestras/variable independiente del proyecto de mejora; Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 24 Prueba T de muestras relacionadas; Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 25 Gráfico de tiempo de calentamiento de barcas del primer trimestre del año, Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 26 Análisis de Ishikawa del tiempo de calentamiento de barcas, Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 27 Storyboard del proyecto de mejora, DMAIC, Fuente: Elaboración propia	62

Figura 28 Nuevo sistema de drenaje de barcas, Fuente: Elaboración propia	63
Figura 29 Gráfico de tiempo de calentamiento de barcas después del proyecto de mejora, Fuente: Elaboración propia.....	67

Índice de tablas

Tabla 1 Flujos del sistema de drenaje, Fuente: Elaboración propia	63
Tabla 2 Comparativa de costos de otras alternativas del proyecto de mejora. Fuente: Elaboración propia.....	64
Tabla 3 Análisis de costos TIR, VAN, Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 4 Diagrama de Gantt del proyecto de mejora, Fuente: Elaboración propia	66
Tabla 5 Prueba T de muestras relacionadas: Fuente: Elaboración propia	68
Tabla 6 Análisis costo-beneficio, Fuente: Elaboración propia.....	71
Tabla 7 Mejoras Post-Proyecto, Fuente: Elaboración propia	71

Siglarlo

SMED	Single-Minute Exchange of Die
WCM	World Class Manufacturing
KPI	Key Performance Indicator
DMAIC	Define, Measure, Analysis, Improve, Control
VSM	Value Stream Mapping
PCMS	Product Compliance Management System
PLC	Programmable Logic Controller
SMART	Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
CAPEX	Capital Expenditures
KW	Kilowatt

Introducción

En la actualidad el sector automotriz es el que prevalece en el estado de San Luis Potosí, empresas de componentes de autos, así como armadoras se han establecido en la entidad. Sin embargo, otros sectores como textil, alimenticio o farmacéutico también están presentes, teniendo en común que todas ellas desarrollan sus procesos apoyados en metodologías de manufactura de clase mundial.

La problemática que se aborda en este proyecto se ubica en el sector textil, específicamente dedicada a la fabricación de telas de alto rendimiento para la elaboración de muebles de alta calidad en un nicho para clientes exclusivos.

El presente trabajo expone una propuesta de mejora para reducir el tiempo de calentamiento de agua dentro del proceso de lavado de tela, a través de tecnologías alternativas y/o mejorar el método actual de puesta a punto del equipo y con ello contribuir a aumentar la disponibilidad del equipo.

Para lograr determinar el proyecto de mejora, se hará uso de metodologías de análisis basadas en Seis sigma esbelto, aplicables a cualquier tipo de industria en donde se busque encontrar una causa raíz de algún problema en específico, y que sea necesario implementar acciones de mejora, muchas veces los proyectos de mejora requieren una inversión la misma metodología hace uso de herramientas que evalúen mediante un análisis costo beneficio la viabilidad del proyecto.

Finalmente, el proyecto también menciona tecnologías alternativas para los procesos de lavado en el sector industrial, los procesos siempre son mejorables y este no es la excepción, alternativas como resistencias eléctricas, uso de quemadores a gas entre otros, nos harán expandir las distintas alternativas que se tienen en el mercado para mejorar el proceso.

Como parte del beneficio que se genera con este proyecto es el incremento de la disponibilidad del equipo, lo que aumenta la producción y, por lo tanto, se genera una mayor utilidad a la empresa.

Capítulo 1: La industria textil y sus procesos de lavado

1.1 Antecedentes

Dentro de los procesos productivos en la industria manufacturera se contempla una variable que afecta el tiempo disponible de cualquier máquina o línea de producción, conocida como tiempo de reconfiguración requerido entre lote y lote, la duración de dicha variable puede cambiar dependiendo el tipo de producto o servicio que se fabrique. Los tiempos de reconfiguración no se pueden eliminar, pero si posible reducirlos aplicando mejoras o cambios en el proceso.

La pérdida de disponibilidad, también se puede entender como el tiempo en que la máquina está en pausa, por motivo de avería, descansos de producción o por elaboración para la fabricación de un nuevo lote de producto (Tiempo de reconfiguración) (Ibarra Bajaña & Andrade Gomez, 2022).

Actualmente, un mal análisis, una mala planeación o incluso mala ejecución de algún tiempo de reconfiguración dentro una organización puede traer consecuencias como:

- ✓ Pérdida de disponibilidad del equipo
- ✓ Mala calidad de los productos o servicios
- ✓ Incumplimiento de entregas con el cliente
- ✓ Deterioro o daño en los equipos
- ✓ Impactos ambientales
- ✓ Daños en la salud

En las últimas décadas, la industria automotriz ha estado muy presente en México y ha marcado la pauta en el estudio y comportamiento de los Set Up. Empresas armadoras de autos se han instalado y han traído una gran cantidad de microempresas proveedoras de componentes, con orígenes en su mayoría asiáticas. Esto ha generado la aplicación de distintas metodologías que ayudan a estudiar y reducir las variables de los procesos de manufactura; sólo por mencionar algunas: SMED, Kaizen, Proyectos Lean-Six Sigma, entre otras. Gracias a la incursión de medición proveniente de la cultura oriental, las empresas en

México han logrado llevar sus procesos bajo los preceptos de Manufactura de Clase Mundial (WCM), según Hayes y Wheelwright (1984) citado en (Bravo Salinas, 2023) es una “filosofía empresarial centrada en la mejora continua y la excelencia de resultados”, que cada día más inversiones al país, que ponen énfasis en el desarrollo de dichas metodologías para que la mano de obra local sea más eficiente sin importar el tipo de pieza o proceso que se fabrique.

En el caso de San Luis Potosí, la realidad no es distinta. De acuerdo con Martínez (2023) la industria automotriz ocupa el 88% de espacios industriales, por lo que el uso de metodologías orientales para estandarizar procesos de manufactura se potencializa en el estado. Es precioso aclarar que no toda la industria es automotriz, ya que también existen otros giros como el metalmecánico, de Construcción, alimenticia entre otras, en las que igualmente se utilizan las metodologías de manufactura antes mencionadas.

En relación con los procesos de Manufactura de Clase Mundial (WCM), es preciso decir que de acuerdo con (Rosales, 2023) se define como un “conjunto de principios, métodos y herramientas que permiten a la organización alcanzar la excelencia en sus operaciones”, que se fundamenta en 10 pilares para su correcta ejecución y funcionamiento, los cuales se menciona a continuación y se representa en la Figura 1:

- 1) Seguridad
- 2) Despliegue de costos
- 3) Mejora enfocada
- 4) Mantenimiento Autónomo
- 5) Mantenimiento Profesional
- 6) Control de calidad
- 7) Logística
- 8) Gestión Preventiva de Equipos
- 9) Desarrollo y Capacitación de los Trabajadores
- 10) Impacto Ambiental.

Cada uno de los pilares antes mencionados poseen sus métricos los cuales evalúan el desempeño y garantizan su cumplimiento.

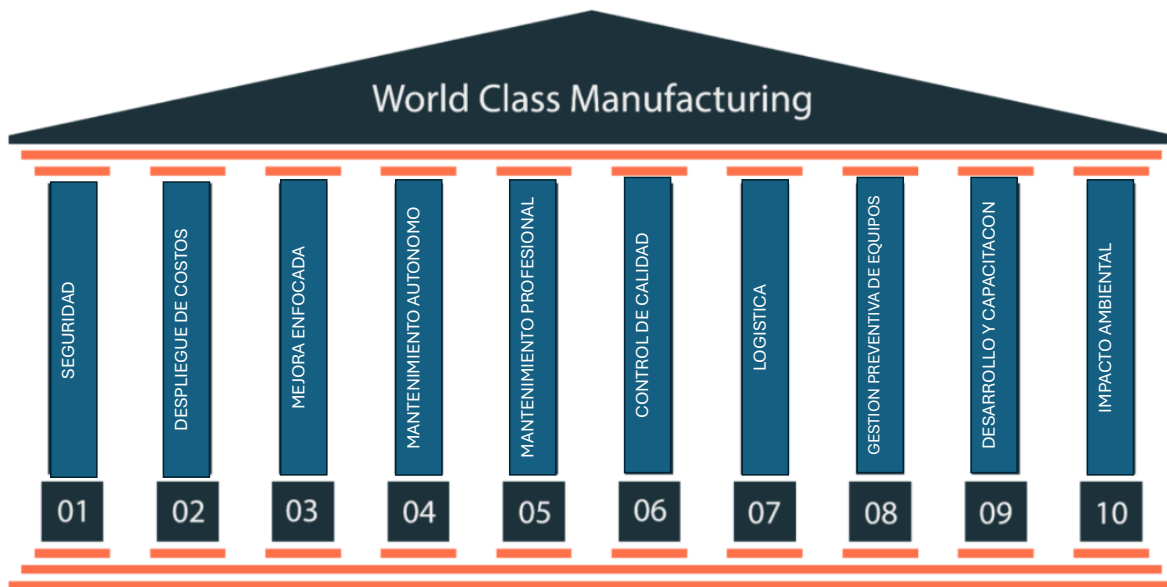


Figura 1 Pilares WCM, Fuente: (Lizarraga, 2020)

Puntualmente, la empresa donde se realiza el estudio es de giro textil y está ubicada en San Luis Potosí, principalmente dedicada a la fabricación de muebles para un nicho específico. Fundada en 1997 y de origen estadounidense, esta empresa está alineada a la metodología de WCM, lo que la convierte en la empresa líder en fabricación de telas de alto rendimiento.

Para el desarrollo de sus funciones la empresa cuenta con 5 áreas principales del proceso de manufactura que son:

- A. Almacén de hilo
- B. Urdido
- C. Tejido
- D. Acabado

E. Almacén de tela

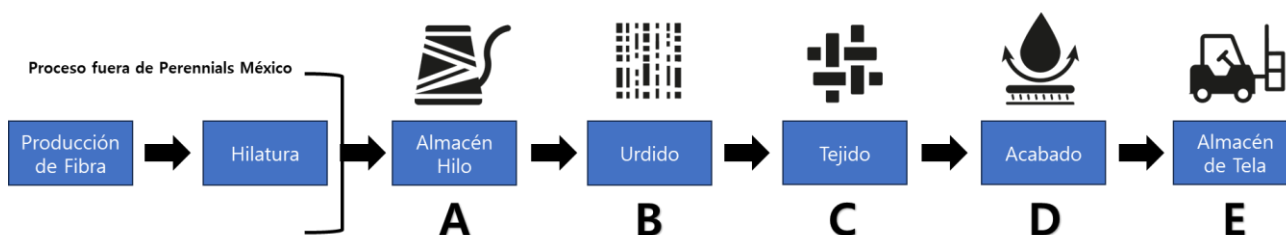


Figura 2 Proceso de manufactura de tela, (Fuente: Elaboración propia)

El área de *almacén de hilo* es donde se recibe y se almacena el hilo, que posteriormente se usará para tejido en forma de urdimbre (a lo largo) o de trama (a lo ancho) para formar la tela, enseguida se pasan al área de *urdido* consiste en formar la urdimbre del tejido, disponiendo los hilos paralelamente de igual longitud. Este proceso entrega un plegador llamado “Julio” que posteriormente pasa al área de *tejido*, proceso que consiste en pasar los hilos de trama por encima o por debajo de los hilos de urdimbre con el uso de un telar industrial de pinzas para tejido plano con la finalidad de formar la tela. Posteriormente, llega a la etapa final de manufactura llamada *acabado* que consiste en eliminar contaminantes de procesos previos por medio de un lavado industrial y termofijar el tejido. En esta parte se agrega un químico que, al pasar por el horno de secado, se fija a la tela y sirve como repelente de líquidos y manchas en su aplicación final en la tela. Al final de este proceso, se pasa por una serie de pruebas de aseguramiento de calidad para garantizar especificaciones de rendimiento de producto. Finalmente, llega a un espacio físico llamado *almacén de tela* donde se almacena la tela como producto final, y se preparan los embarques para los clientes (Figura 2).

El presente proyecto nace a partir de una necesidad identificada en el área de acabado, bajo la gestión del pilar de *Mejora Enfocada*¹ (FI por sus siglas en inglés). dicha necesidad se enfoca en reducir el tiempo de tiempo de reconfiguración durante el cambio del *agua de proceso*² en la operación de lavado de tela. Este cambio debe realizarse cada 3,000 yardas³ y

¹ La mejora enfocada (Focus Improvement)) ayuda a reducir drásticamente las principales pérdidas e ineficiencias de proceso (Alfra Lean Advisors, 2016).

² El agua del proceso se refiere a la composición química que se requiere para dar el lavado óptimo de la tela.

³ El tiempo de fabricación de 3,000 yardas puede variar de acuerdo con el modelo fabricado, oscilando entre 4 y 7 hrs.

se lleva a cabo en un tiempo estándar de 68 minutos para continuar con el proceso de operación.

Es muy importante conocer que el agua de proceso, al ser desechada, es necesario aplicar un proceso de tratamiento de agua por cuestiones de limpieza sanitaria y concientización con el medio ambiente. El proceso de lavado de tela requiere agua de alta calidad, por lo que se tiene un equipo de osmosis capaz de entregar agua inferior a los 10ppm de cloro residual.

Los pasos que se realizan durante el cambio de *agua de proceso*, así como el tiempo que genera cada actividad, se enlistan a continuación:

1. Drenado de agua de proceso (3min)
2. Lavado de barcas (10min)
3. Lavado de filtros (5min)
4. Calentamiento de agua limpia (55min)

Como se puede observar, el punto 4 calentamiento de agua que se realiza mediante una caldera es el paso que más tiempo requiere para continuar con la operación; por lo que se identifica como necesidad disminuir este tiempo, considerando utilizar una forma de calentamiento alternativa a la que usa actualmente.

Este proyecto se realiza apoyado de la metodología Seis sigma esbelto cuyo objetivo es

“Lograr la estabilidad del negocio, reducir tiempos y costes operativos, incrementar la calidad y aplicar de forma eficiente los recursos eliminando los procesos que no aportan valor añadido. Para lograrlo, Lean-Six Sigma propone una serie de herramientas que permiten identificar las áreas de mejora en diferentes ámbitos de la empresa”
(Gerges González, 2023)

El interés se enfoca en reducir el tiempo de calentamiento de agua limpia, haciendo uso eficiente de los recursos y tecnologías para aumentar la disponibilidad del equipo, a través de la metodología de Seis sigma esbelto, y con ello generar mayores utilidades a la empresa.

1.2 Problemática.

El proceso de lavado de tela es vital para garantizar la calidad de los productos textiles, un mal lavado puede provocar problemas en los procesos subsiguientes, por lo que es muy importante realizar un cambio de agua de proceso cada 3,000 yardas producidas.

En la Figura 3 se muestran las operaciones que conforman el proceso de acabado.

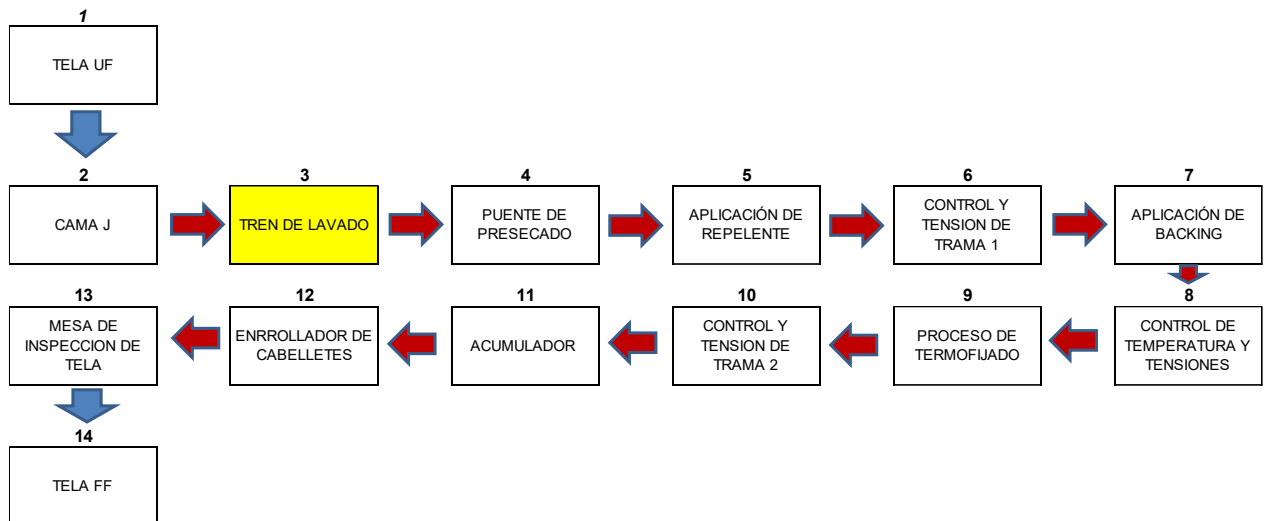


Figura 3 Diagrama de proceso de acabado de tela, (Fuente: Elaboración propia)

Los pasos se describen a continuación:

1. El proceso de acabado inicia con la recepción de la tela del área de tejido llamada *UF*⁴.
2. Este paso llamado *cama j*, consiste en cocer la tela *UF* por bultos y se alimentan mediante unos rodillos a la cama *j* donde se almacena el material.
3. El tercer paso, llamado *tren de lavado*, se lava la tela *a* través de 3 tinas con capacidad de 1,700 litros de agua, a esta agua se le agrega un detergente el cual acciona a una temperatura de 85 grados,
4. Enseguida, la tela debe pasar por un *proceso de presecado* que se lleva cabo mediante un sistema de vacío a una presión de 8 mmHg o superior.

⁴ *UF* - Por sus siglas en inglés *unfinished fabrics* que significa telas sin terminar.

5. En el paso de *aplicación de repelente*, la tela se sumerge en el químico que da la propiedad de repelencia y es exprimida con unos rodillos antes de pasar al siguiente proceso.
6. En este paso, el proceso pasa por unos rodillos que enderezan la tela con un sistema de 3 rodillos bananos, la cual es muy importante para cumplir con los estándares de calidad. Dicho proceso se le conoce como *control y tensión de trama* en esta operación.
7. En esta operación se aplica un producto llamado *backing* el cual refuerza los tejidos. Esta operación es exclusiva para productos de terciopelo.
8. Sección de la máquina donde se colocan los parámetros de operación de todo el sistema, además de que es el proceso donde se ingresa la tela en el sistema de transporte por cadena y se controla la tensión del sistema.
9. Una de las etapas más importantes se encuentra en el *proceso de termofijado* aquí, la tela pasa por un horno de secado a temperaturas superiores a los 150 grados centígrados, necesarios para adherir el repelente y dar la propiedad de repelencia al agua.
10. Segunda sección de enderezado de *trama*, este proceso únicamente se tiene un rodillo banana para su control.
11. La tela pasa por un *acumulador* el cual su función es almacenar material.
12. Etapa donde se almacena el material del acumulador en un dispositivo llamado caballete o bota.
13. Por último, los caballetes alimentan una mesa de inspección, en la que se revisan las propiedad y calidad del producto. Se realizan cortes por bultos de aproximadamente 20 yardas.
14. Se almacenan las telas terminadas (*FF*)⁵ en tarimas, y se disponen para su distribución.

La parte de proceso donde se identifica la problemática está situada en la operación de tren de lavado (resaltada en la figura 3 en amarillo). En el año 2023, el calentamiento de agua de proceso (también conocida como calentamiento de barcas), esta identificada como una de las

⁵ *FF- Por sus siglas en inglés finished fabrics que significa telas terminadas.*

grandes pérdidas de todo el proceso de manufactura. Sabiendo que el proceso requiere lavar las 3 barcas de agua de proceso cada 3,000 yardas en un tiempo estándar de 55 minutos, la disponibilidad del equipo se ve afectada.

En la Figura 4 se presenta el análisis de las causas de la problemática identificada mediante un diagrama de Ishikawa.

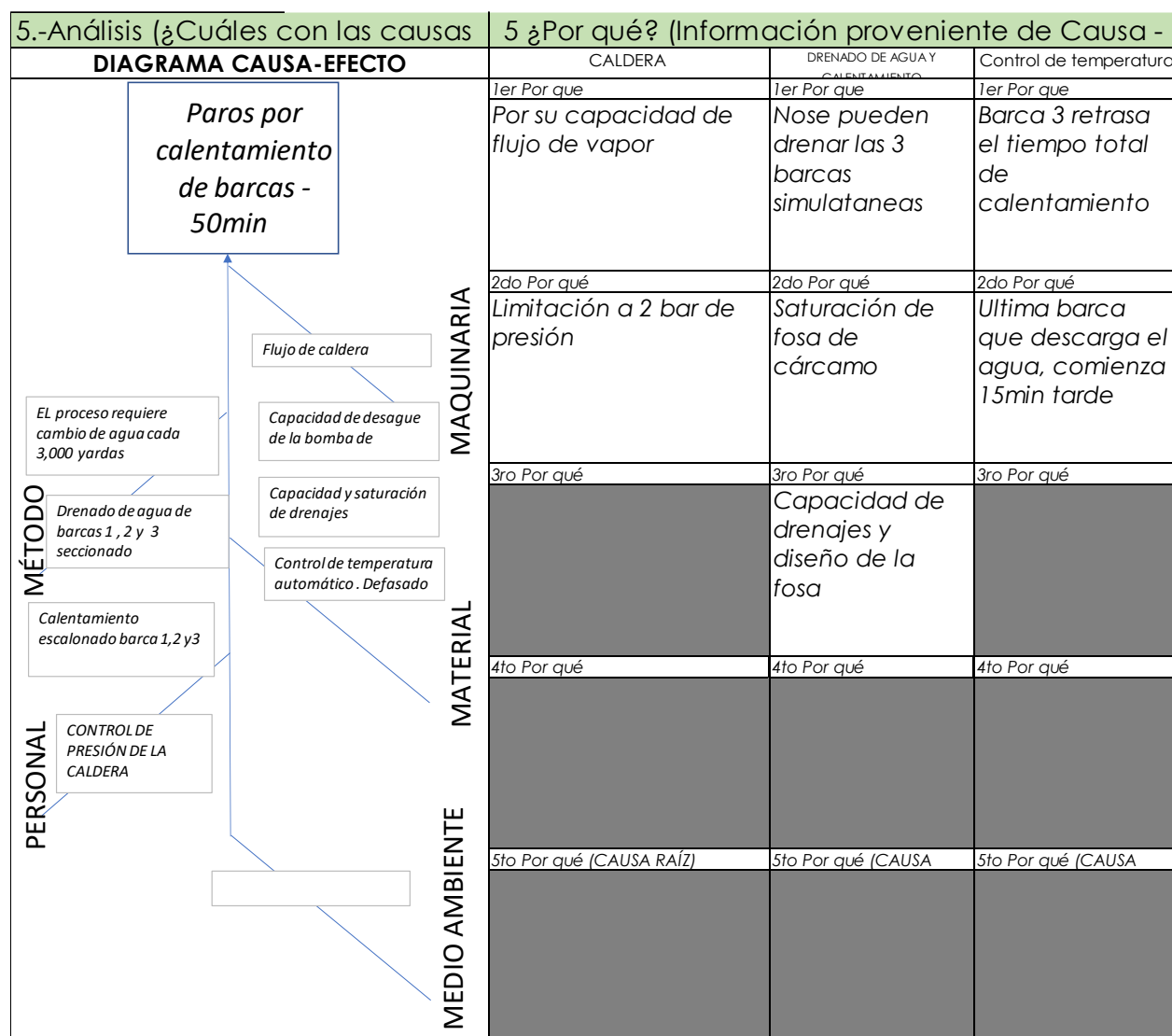


Figura 4 Diagrama de Ishikawa de la problemática, (Fuente: Elaboración propia)

En el diagrama se identifican 3 principales causas o áreas de oportunidad en el proceso, se enlistan a continuación:

- Limitación en la capacidad de flujo de la caldera actual.

- Saturación en los drenajes al descargar las barcas/tinas de proceso.
- Proceso de calentamiento de barcas escalonado.

En la

Figura 5 se expone el comportamiento de la variable de calentamiento en el último trimestre del año. En el eje “x” se ubica los días del mes, mientras que en el eje “y”, el tiempo promedio por calentamiento. Se pueden observar picos altos en el gráfico; estos pueden ser debidos a 4 factores:

- Omisión de cierre de paro
- Omisión de cierre por correr producción la cual no requiere proceso de lavado
- Déficit en el suministro de flujo de la caldera
- Déficit en el drenado de agua de proceso

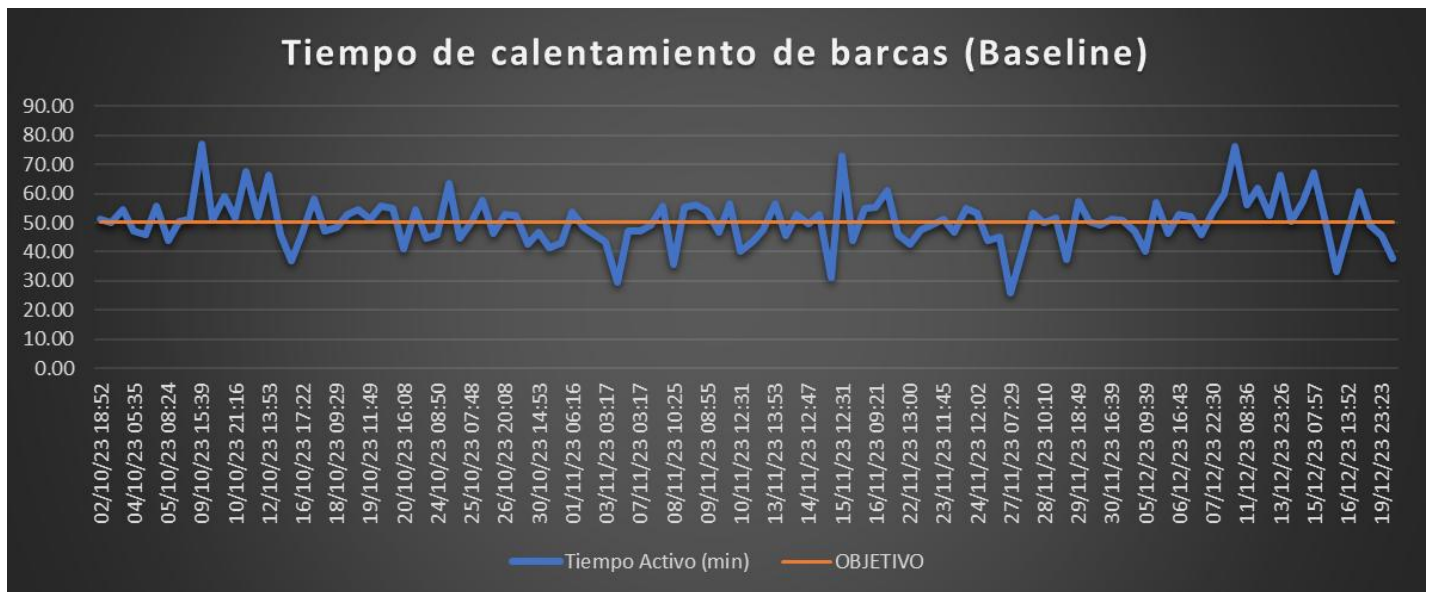


Figura 5 Registro de tiempo de calentamiento de agua de proceso del último trimestre del año 2023, (Fuente: Elaboración propia).

En la Figura 6, se expone el comportamiento de la variable de la semana 5 a la 10 del año 2024. Se puede observar mayor estabilidad con respecto al objetivo.

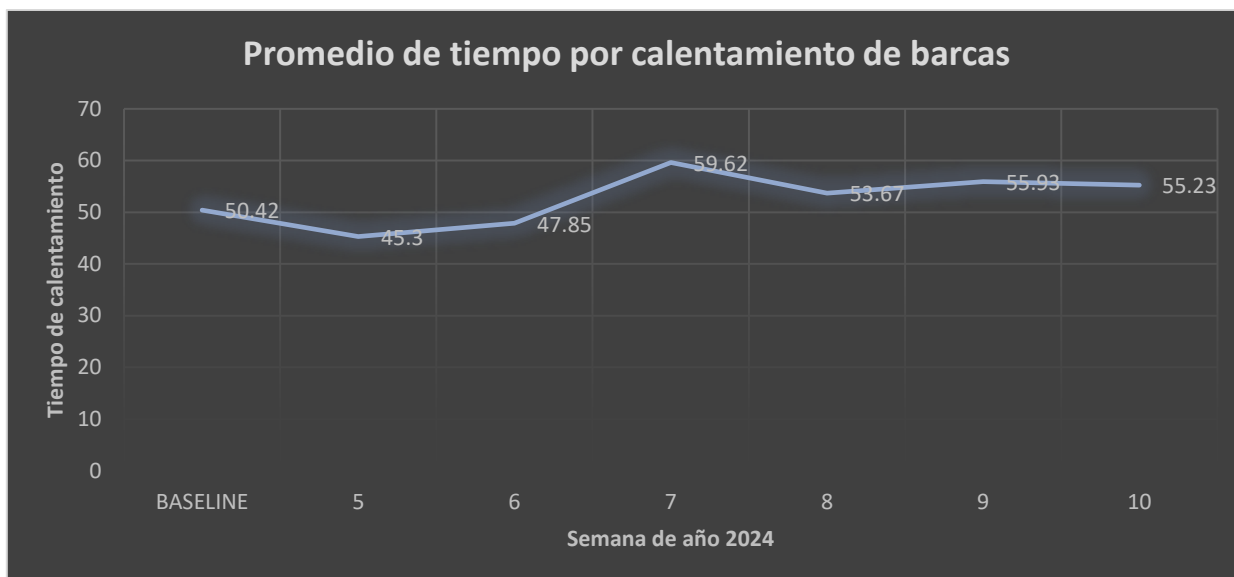


Figura 6 Registro de tiempo por calentamiento de agua de proceso semana del 5 al 10 del año 2024, (Fuente: Elaboración propia).

Con la información anterior, se determina como una necesidad, incrementar la disponibilidad del equipo, reemplazando el método actual o en su defecto complementarla con otra tecnología con la finalidad de reducir el tiempo estándar de calentamiento de agua.

Con base en la problemática planteada se establecen las siguientes preguntas de investigación:

General

- ¿Cómo se puede mejorar el método actual de calentamiento de agua de proceso para reducir el tiempo de calentamiento e incrementar la disponibilidad de la línea de producción?

Específicas

- ¿Cuáles son las partes del proceso de calentamiento de agua que se pueden mejorar a partir de la aplicación de la herramienta VSM (Value stream mapping)?
- ¿La mejora de la infraestructura del drenaje de agua de proceso aumenta la disponibilidad del equipo?
- ¿Cuál es la tecnología que puede complementar el proceso de calentamiento de agua actual?

1.3 Justificación

La presente investigación se enfocará en el estudio de reducción del tiempo de reconfiguración para incrementar la disponibilidad del equipo en el área de acabado de una empresa del sector textil en San Luis Potosí. El incremento de la disponibilidad del equipo supone aumentar el tiempo de producción, y con ello mayor utilidad para la empresa. En el año 2023 se hizo un estudio de grandes pérdidas de la empresa; la variable de tiempo de calentamiento de barcas generó una pérdida de más de \$120,000 dólares. Al no estar produciendo el equipo en el tiempo que se cambia el agua de proceso, esto se considera como falta de disponibilidad.

Con el desarrollo de este proyecto, se demostrará como al aplicar metodologías Seis sigma esbelto se puede reducir el tiempo de calentamiento de agua de proceso, siendo este el principal indicador de estudio. Este proyecto también sigue los pasos del método científico, con lo que se obtendrán resultados precisos, medibles y cuantificables que permitirán analizar el fenómeno de estudio.

Algunos de los beneficios de este proyecto adicionales incluyen el ahorro en energía eléctrica, eliminar impactos ambientales que el sistema actual genera, además de mejorar temas de mantenimiento que requerían de una atención especial durante el proceso.

Si bien, el proceso de manufactura de telas en la fase de acabado ha estado vigente desde hace 20 años, ha habido distintos proyectos de mejora para disminuir la variable de calentamiento de agua. Este proyecto se distingue por aplicar la metodología Seis sigma esbelto, por lo que supone un análisis más profundo e integral de los elementos asociados a la problemática, con lo que se espera mediante un estudio financiero, el proyecto tenga un retorno de inversión no mayor a 2 años.

Los resultados de este trabajo se pueden aplicar no solo en la industria textil, sino también en procesos industriales que impliquen lavado químico de otros productos con alta temperatura.

1.4 Objetivos e hipótesis

A continuación, se presentan los objetivos que rigen este trabajo de tesis.

1.4.1 Objetivo General

Implementar un proyecto de mejora, basado en la metodología DMAIC, que reduzca los tiempos del proceso, con la finalidad de incrementar la disponibilidad de la línea de producción en el área de acabado de una empresa textil.

1.4.2 Objetivos específicos

- 1) Medir los tiempos del proceso de calentamiento de agua a partir de la herramienta VSM (Value stream mapping).
- 2) Analizar los datos recopilados para determinar el proyecto de mejora que permita disminuir el tiempo de calentamiento de agua, mediante un diagrama de Ishikawa.
- 3) Implementar el proyecto de mejora que garantice la disminución de la variable dependiente del proyecto (Tiempo de calentamiento).
- 4) Verificar la disminución del tiempo de calentamiento de agua de proceso mediante el KPI (Key performance indicator) de disponibilidad de la línea.

1.4.3 Hipótesis

H1: El tiempo de calentamiento de agua de proceso se disminuye en un 50% aplicando una mejora en el proceso.

1.5 Alcance

El desarrollo del presente trabajo se realiza para la reducción del tiempo de calentamiento de agua de proceso, donde se pretende implementar metodologías de Seis sigma esbelto en el sector textil específicamente en el área de acabado final de las telas, suponiendo que el actual proceso es deficiente. Las mejoras abarcarán, desde modificaciones en la infraestructura, la eficiencia del proceso, así como implementación de nuevas tecnologías para el proceso de calentamiento.

Este trabajo se enfoca en reducir el tiempo de calentamiento a través de la implementación de una tecnología alternativa. No se abordarán temas de calidad de lavado de tela, calidad del agua de proceso o calidad del producto.

Se espera que, como resultado de este trabajo, el proceso de tiempo de reconfiguración se logre reducirse hasta un 50%. Esta reducción será probada y validada mediante un análisis estadístico de la variable con ayuda del sistema PCMS⁶ por sus siglas en inglés (Product Compliance Management System), el cual administra los tiempos de producción y de pérdida de los procesos.

Se espera que el desarrollo del proyecto sea durante el segundo semestre del año 2024, no obstante, debido a que el desarrollo del proyecto requiere una inversión, esto podría representar una limitante, por lo que existe la posibilidad que tenga un retraso en su implementación, pudiendo culminarse dentro del primer semestre del año 2025.

⁶ Plataforma WEB diseñada internamente por la empresa para el desarrollo y análisis de los distintos procesos en las áreas operativas.

Capítulo 2: Tecnologías en los procesos de lavado de telas de alto rendimiento

En este apartado se desarrollará un análisis conceptual de las variables del proyecto, que sirven como base para fundamentar desde la literatura científica su estudio.

2.1 Mecánica de fluidos

A continuación, se define la mecánica de fluidos de acuerdo con (Martín Domingo, 2011) como “la rama de la física que estudia las leyes del movimiento de los fluidos y sus procesos de interacción con los cuerpos” (p.5).

Como afirma (González Santander, 2014) existen principalmente tres clases de fluidos:

- Los líquidos (p. ej. el agua) son fluidos de muy baja compresibilidad.
- Los gases (p. ej. el aire) son fluidos de una alta compresibilidad.
- Los plasmas (p. ej. de la atmósfera solar) son fluidos en los que una determinada proporción de sus partículas está cargada eléctricamente, de tal manera que responden a la interacción electromagnética.

En este proyecto se trabajan con líquidos y gases. El líquido lo constituye el agua de proceso y los gases son utilizados para calentar el agua mediante una caldera.

2.1.1 Caudal en tuberías

Se define caudal según (Monge Redondo M. A., 2017) “como el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado”.

Si denominamos al caudal Q , al volumen V y al tiempo t , entonces:

$Q = V/t$; las unidades se miden en litros/segundos

La expresión para el caso de tuberías como el proyecto lo demanda, se considera como se muestra en la Figura 7

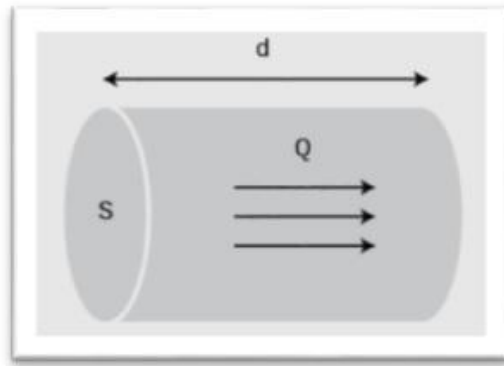


Figura 7 Flujo en tubería Fuente: (Monge Redondo M. A., 2017)

El mismo autor señala que d representa una distancia recorrida en un intervalo de tiempo y S el área de la tubería por lo que para determinar el Flujo a largo de la tubería se expresaría:

$$Q = (S)(V)$$

Donde:

V = Velocidad de la circulación del agua

S = Sección del tuno en metros cuadros

Q = Flujo en l/s

2.1.2 Presión

La presión se describe como la magnitud absoluta de la fuerza por unidad de área en una pequeña superficie que atraviesa dicho punto, y en el sistema internacional, su unidad es el Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$) (Martín Domingo, 2011).

Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$P = (F)(A)$$

En un fluido en reposo, la presión en un punto específico es uniforme en todas las direcciones. Esto se debe a que, si la presión variara entre direcciones, el fluido no permanecería en reposo y estaría en movimiento (González Santander, 2014).

2.1.3 Viscosidad de los fluidos

La viscosidad representa la resistencia al movimiento de un fluido, desempeñando un papel similar al de la fricción en el movimiento de los sólidos. Esta propiedad está siempre presente, en mayor o menor grado, tanto en fluidos compresibles como incompresibles. Sin embargo, no siempre es necesario considerarla. En fluidos perfectos o no viscosos, su efecto es insignificante y se ignora, mientras que, en fluidos reales o viscosos, su impacto es significativo y no puede ser despreciado. En el caso del agua, a veces se utiliza el término "flujo de agua seca" para referirse al flujo no viscoso y "flujo de agua mojada" para describir el flujo viscoso (Martín Domingo, 2011) (p.8)

Para el desarrollo de este proyecto es importante considerar esta variable ya que el agua de proceso es una mezcla con detergentes y químicos por lo que su viscosidad es mayor y debe ser considerada en los análisis.

2.1.4 Ecuación de continuidad

El trayecto de una partícula individual en un fluido en movimiento se llama línea de flujo. En un flujo constante, todas las partículas que atraviesan un punto específico siguen la misma línea de flujo. Un tubo de flujo se forma por las líneas de flujo que rodean el borde de un área imaginaria (Jiménez Carballo, 2108) como se muestra en la Figura 8

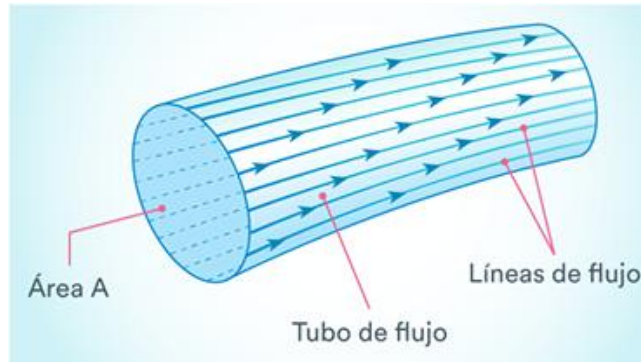


Figura 8 Líneas de flujo Fuente: (Jimenez Carballo, 2017)

El autor expresa que, si no se producen pérdidas de fluido dentro de un tubo uniforme, la masa de fluido que ingresa en un periodo de tiempo es igual a la masa que sale del tubo en el mismo intervalo de tiempo. como se muestra en la Figura 9.

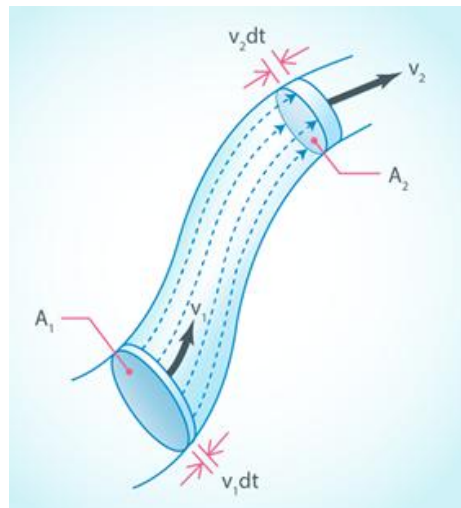


Figura 9 Fluido Ideal Fuente: (Jimenez Carballo, 2017)

Para un fluido incompresible, su densidad ρ permanece constante, por lo que se cumple la relación $A_1 V_1 = A_2 V_2$. Este resultado es conocido como la ecuación de continuidad de un fluido ideal..

Uno de los principales problemas del proyecto se enfoca en que no se tiene un flujo continuo de descarga del agua, es decir, se tienen distintas medidas en las tuberías, esto hace que se saturen los drenajes y afecten la variable de calentamiento de agua directamente.

2.2 Tecnologías para el calentamiento de agua

2.2.1 Caldera

Las calderas de vapor tienen como objetivo transformar el agua a temperatura y presión ambiente, en vapor de agua a una presión y temperatura más alta, partiendo de la energía del combustible usado.

Se pueden clasificar en distintos tamaños y potencias, desde calderas de poca potencia, usadas en pequeñas empresas hasta las calderas generadoras de energía eléctrica.

Son parte de los equipos más utilizados en la industria, además de los hornos industriales, son los equipos que tienen mayor consumo de combustible, por lo tanto, darles mantenimiento para que funcionen de manera eficiente, tiene beneficios importantes para las empresas (Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía, 2009).

Existen dos tipos de calderas basados en la trayectoria del fluido caloportador a través de los tubos de intercambio: a) las acuotubulares, en las cuales el fluido se desplaza dentro de los tubos durante el calentamiento mientras los gases de combustión circulan por el exterior, operando a una presión superior a 22 bar, y b) las pirotubulares, donde los gases de combustión fluyen por el interior de los tubos y el líquido está contenido en un recipiente atravesado por estos tubos, operando a una presión inferior a 22 bar (Uceda Martínez, 2013). Para el presente proyecto se usa una caldera de vapor para calentar el agua de proceso.

En la investigación desarrollada por (Quirola Guevara, 2017) se diseñó e implementó un sistema de recuperación de energía para el calentamiento de agua en procesos industriales,

partiendo de la idea de que los sistemas térmicos son equipos que generan calor para satisfacer las necesidades de calefacción y agua caliente en los procesos productivos. Las calderas, hornos y secadores son los equipos más destacados, siendo las calderas las de mayor uso. En la industria textil, la caldera y sus ramales de distribución constituyen el principal sistema térmico. En este caso, generan vapor de agua que se utiliza en los procesos de tintura, mercerizado, lavado, sanforizado y engomado.

Para asegurar el funcionamiento óptimo de las calderas, es crucial prevenir la acumulación de sólidos disueltos en las superficies de intercambio, los cuales provienen del agua de alimentación tratada. Cada caldera está equipada con un sistema de control de estos sólidos, que puede ser manual o automático. La eliminación de estos se efectúa a través de purgas que expulsan agua a la presión y temperatura de trabajo de la caldera.

El vapor producido por las calderas se transforma en líquido en las trampas de vapor debido a su uso en procesos y su circulación en la red de tuberías. Este líquido se recoge en tanques específicos y es devuelto a los tanques de acumulación por medio de bombas mecánicas de condensado. En estas bombas, se genera vapor flash por el cambio brusco de presión, y se acumula vapor activo que impulsa la bomba, por lo que se incluye un sistema de venteo en cada una.

La implementación de estos procedimientos resultó en que la recopilación de datos teóricos y prácticos sobre la operación del sistema logró alcanzar el 94% de la temperatura máxima de calentamiento del agua. Se determinó que los segmentos extensos de tuberías producen una cantidad importante de condensado, cuya recuperación para reutilizar en las calderas representa un ahorro significativo a mediano plazo (82,8 kg/h de condensado a 90°C). Las pérdidas de calor por convección natural en el sistema son mínimas y representan solo una pequeña fracción de la energía total recuperada (1,5% del calor disponible) (Quirola Guevara, 2017).

2.2.2 Resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas industriales son componentes clave para el calentamiento de agua en aplicaciones industriales. Estas resistencias se diseñan para estar en contacto directo con

el fluido a calentar, como agua, aceite o soluciones químicas, lo que permite un rendimiento energético óptimo y una transferencia de calor eficiente (Techno Injection & Tools, 2019).

Existen varios tipos de resistencias eléctricas, cada una adecuada para diferentes necesidades y aplicaciones (Techno Injection & Tools, 2019).

- ✓ Resistencias de inmersión: Ideales para calentar líquidos directamente, alcanzando altas temperaturas y ofreciendo un control preciso del calentamiento.
- ✓ Resistencias tipo banda: Utilizadas principalmente en la industria de plásticos para calentar superficies cilíndricas como máquinas inyectoras y extrusoras.
- ✓ Resistencias tipo cartucho: Adecuadas para aplicaciones que requieren calentamiento localizado y de alta densidad.
- ✓ Resistencias de cuarzo: Específicas para procesos que necesitan radiación infrarroja, como tostadoras y secados industriales.

Estas últimas resistencias se caracterizan por su gran capacidad de aislamiento y mínimo consumo eléctrico, lo que las hace eficientes para el calentamiento de agua en grandes tanques y calderas industriales.

En un estudio realizado por (Urbina Fuentes, 2010) se comparan técnica y económicamente tres sistemas de calentamiento de fluidos: resistencias eléctricas, calderas diésel e inducción magnética. El objetivo principal fue determinar las ventajas relativas de cada sistema, considerando factores como el tipo de fluido, la precisión del control de temperatura, el rendimiento energético, la vida útil, la existencia de puntos calientes, las dimensiones geométricas, la contaminación y otros aspectos. En los resultados se determina que los sistemas resistivos son ideales para medianas potencias (hasta 10 MW) debido a su eficiencia y menor costo en comparación con los otros sistemas. Las calderas son más adecuadas para aplicaciones de alta potencia, mientras que el calentamiento inductivo es óptimo en situaciones específicas, como tuberías en funcionamiento o procesos mineros. La instalación de resistencias eléctricas requiere un circuito cerrado de agua, mientras que las calderas diésel no son recomendables debido a su mayor consumo de energía y contaminación

2.2.3 Quemadores de gas

En un estudio realizado (Marín, 2008) el quemador es el componente esencial en cualquier aplicación de gas. Su función principal es lograr una combustión completa y limpia de la mezcla de aire y gas, produciendo una llama estable y homogénea, y transfiriendo adecuadamente el calor generado al producto que se desea calentar. Para cumplir con su propósito, el quemador debe satisfacer los siguientes requisitos: distribuir la llama de manera uniforme (con altura uniforme) y repartir el calor de forma homogénea y eficiente al elemento que se va a calentar (intercambiador de agua, utensilio de cocina, etc.); lograr la combustión total del gas, con emisiones contaminantes mínimas y cumpliendo siempre con la normativa vigente; mantener la estabilidad de la llama, evitando que se desprenda o retroceda en todo el rango de potencias del quemador; y tener una vida útil prolongada (de 12 a 15 años), similar a la esperada para la aplicación en la que está instalado, sin degradación apreciable durante su vida útil. En los últimos tiempos, ha aumentado significativamente la preocupación por reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).

La clasificación de los quemadores puede basarse en diferentes criterios (Marín, 2008):

- Método de transferencia de calor: Existen quemadores que utilizan la convección, como los de llama azul, y otros que se basan principalmente en la radiación, como los quemadores radiantes.
- Proceso de mezcla de aire y gas: Algunos quemadores mezclan parcialmente el aire con el gas antes de llegar al quemador, aspirando aire adicional durante la combustión, mientras que los quemadores de premezcla combinan completamente el aire con el gas antes de la combustión.
- Mecanismo de inducción de aire: Los quemadores pueden clasificarse según cómo inducen el aire necesario para la combustión, ya sea a través de tiro natural en los quemadores atmosféricos o mediante tiro forzado o inducido con la ayuda de un ventilador.

A pesar de que ciertos dispositivos como asadores y algunos calentadores todavía emplean quemadores cerámicos atmosféricos radiantes de mezcla parcial, la tendencia general en aplicaciones como calderas, calentadores de agua, procesos de secado y catering, es el uso de quemadores de premezcla con tiro forzado. Estos últimos ofrecen una transmisión de calor que puede variar de radiante a baja potencia hasta convección a alta potencia, según la necesidad de la aplicación (Marín, 2008).

Estos quemadores de premezcla presentan ventajas frente a los de mezcla parcial, como menor exceso de aire necesario, mayor eficiencia térmica, menor tamaño para igual potencia, llama más corta que permite cámaras de combustión compactas, y permiten enviar los humos a gran distancia o desarrollar aplicaciones estancas.

2.2.4 Energía solar

Los sistemas que aprovechan la energía solar tienen un componente esencial que es el colector, un dispositivo encargado de absorber la energía del sol y transformarla en energía útil, ya sea térmica o eléctrica. Además, la energía solar también puede ser convertida en calor mediante el uso de captadores solares (Nandwani, 2005)

La tecnología solar se ha desarrollado y establecido a nivel mundial, ha experimentado un rápido crecimiento, a través de los captadores solares para el calentamiento de agua en uso doméstico. Estos captadores solares vienen en varios diseños, incluyendo los planos, los de tubos evacuados y los de concentración solar. En todos ellos, la energía solar se captura en una superficie absorbente que transfiere el calor a un fluido, generalmente agua (Gasca, 2013).

Al concluir el año 2010, la capacidad instalada de colectores solares térmicos activos alrededor del mundo alcanzaba los 195.8 gigavatios térmicos (GWt), equivalentes a 279.7 millones de metros cuadrados. Se proyecta que, para el cierre de 2011, esta capacidad se incrementó en un 25%, llegando a los 245 GWt. De este total, un 88.3% está representado por colectores de placa plana y tubos al vacío, un 11% por colectores sin cubierta de vidrio y apenas un 0.7% por colectores de aire, con o sin cubierta de vidrio. En México, durante 2010, se instalaron sistemas de captación solar para calentar agua cubriendo un área de

272,580 metros cuadrados, sumando un total acumulado de 1,665,502 metros cuadrados (Gasca, 2013).

Estudios como el de (Jaramillo S, 2006) muestran los resultados de la implementación de un Sistema de Calentamiento de Agua de Proceso con energía solar en una industria de curtiembre en Colombia, partiendo de cuatro objetivos: 1) Reducir el consumo de combustibles fósiles (diésel) para calentar agua en el proceso de curtido de pieles, 2) Reducir los costos de producción al sustituir parcialmente el diésel, 3) Incrementar la temperatura del proceso de curtido de 50°C a 80°C para mejorar la fijación del cromo y reducir sus residuos en aguas residuales y 4) Disminuir el impacto ambiental reduciendo emisiones y uso de combustibles fósiles. Para el logro de estos objetivos, los autores plantearon algunas innovaciones tecnológicas como el uso de superficies selectivas de alta eficiencia desarrolladas localmente para los colectores solares; nueva topología del sistema con modos de llenado y recirculación para mejorar la estratificación térmica; sistema de control digital programable y uso de materiales y mano de obra local para bajar costos. Además, llevaron a cabo la instalación de colectores solares de 3 metros cuadrados cada uno, con un área efectiva de 21.76 metros cuadrados, un tanque de almacenamiento de 3000 litros, una bomba de circulación de 1/2 HP, calculando curvas de eficiencia de los colectores obtenidas experimentalmente. Como resultado pudieron reducir el consumo de diésel en aproximadamente 125 litros por semana, teniendo un retorno de inversión estimado en menos de 4 años. Por lo anterior, se concluye que el proyecto se implementó con éxito, a partir de la instalación de un sistema solar térmico innovador y de bajo costo para precalentar agua de proceso en una curtiembre, logrando ahorros económicos y ambientales significativos.

Otro ejemplo del uso de energía solar para el calentamiento de agua industrial es el trabajo desarrollado por (Ramires & Odobez, 2019) con el objetivo de reducir los costos y el impacto ambiental en el calentamiento de agua sanitaria del edificio administrativo, vestuarios y comedor de Bayer Zárate, sustituyendo parte de la energía eléctrica por energía solar térmica mediante colectores solares de tubos de vacío. Se calculó la demanda energética mensual para calentar el agua sanitaria y se determinó instalar 6 colectores solares de 30 tubos cada uno, con un área de apertura total de 17 m². Se esperaba un ahorro anual de 16.374 kWh de energía eléctrica, correspondiente al 30% del consumo total, y una reducción anual de 8,762

toneladas de emisiones de CO₂. El período de amortización de la inversión se estimó en 10 años, considerando un costo de la energía eléctrica de 1,33 \$/kWh con un aumento anual del 20%. Se analizaron los datos con el software TRNSYS18, lo que arrojó resultados ligeramente diferentes, con un 23% de sustitución de energía eléctrica por energía solar térmica. Este proyecto sirvió como punto de partida para la empresa en la utilización de energías limpias y como incentivo para futuros proyectos con energías renovables.

El estudio realizado por (Ramires & Odobez, 2019) se centró en la utilización de la energía solar para optimizar el proceso de calentamiento de agua sanitaria en las instalaciones de Bayer Zárate, con el fin de disminuir tanto los costos operativos como el impacto ecológico. La estrategia consistió en reemplazar una fracción del consumo eléctrico por energía solar térmica, utilizando para ello colectores solares de tubos de vacío. Tras evaluar la demanda energética mensual necesaria para el calentamiento del agua, se optó por la instalación de seis colectores solares, cada uno con treinta tubos y una superficie total de apertura de 17 m². Se anticipaba que este cambio generaría un ahorro anual de 16.374 kWh en electricidad, lo que representa el 30% del consumo total, y una disminución de 8,762 toneladas en emisiones de CO₂ al año. El retorno de la inversión se proyectó en una década, tomando en cuenta un costo de 1,33 dólares por kWh de electricidad y un incremento anual del 20% en este precio. Los análisis efectuados con el software TRNSYS18 indicaron una sustitución del 23% de la energía eléctrica por solar térmica, un dato ligeramente distinto al esperado. Este proyecto marcó el inicio de la empresa en el uso de energías sostenibles y motivó la planificación de futuras iniciativas en el ámbito de las energías renovables.

Finalmente, la investigación de (Guamán & Ríos, 2016) propone un enfoque para comparar distintas tecnologías de calentamiento de agua residencial en términos de su eficiencia energética, viabilidad económica y efectos ambientales. A pesar de no enfocarse en aplicaciones industriales, el estudio es relevante ya que analiza las repercusiones financieras de incorporar variados sistemas de calentamiento de agua en los futuros panoramas energéticos de Ecuador, tomando en cuenta la sustitución y la disminución del uso de energía fósil importada.

Los autores mencionan que las tecnologías más utilizadas actualmente para calentar agua: calderas de combustión, sistemas a gas, sistemas eléctricos (resistencias e inducción) y sistemas solares térmicos.

Además, en este trabajo se analiza el consumo energético, costos económicos (con y sin subsidios de gobierno) y emisiones de CO₂ de cada tecnología. Los autores concluyen que los sistemas más eficientes y económicos a largo plazo resultaron ser los calentadores solares térmicos e inducción magnética.

2.3 Manufactura Esbelta

Según Tejeda (2011), describe la manufactura esbelta como un enfoque integrado que combina aspectos sociales y tecnológicos para la optimización de procesos. Su meta esencial es la eliminación de cualquier elemento que no proporcione valor al cliente, lo que resulta en una mejora de la calidad y una reducción de los tiempos y costos de producción. Este sistema se distingue por su uso de trabajadores cualificados organizados en equipos colaborativos que operan con respeto y responsabilidad, poseen la capacidad de sugerir mejoras y tienen la autoridad para pausar la producción si identifican errores. Se centra en la fabricación de productos de alta calidad, costos reducidos y diversificados, alineados con las demandas del cliente. Además, promueve relaciones duraderas con proveedores y clientes, tiempos de producción breves y un compromiso con la mejora continua.

2.3.1 Ocho Desperdicios

La filosofía de Manufactura Esbelta identifica como “muda” cualquier actividad que no contribuya al valor del producto, y su meta es erradicar estas inefficiencias. Según Ohno, el desperdicio incluye todo aquello que supera lo estrictamente necesario en términos de equipo, materiales, espacio y trabajo para agregar valor al producto. Se reconocen siete tipos de desperdicios, a los cuales Womack añadió un octavo Ohno, (1988) citado en (Tejeda, 2011)):

- Sobreproducción: Fabricar productos antes o en cantidades mayores de lo que el cliente necesita.

- Esperas: Tiempos muertos en los que operarios o clientes aguardan por materiales o información.
- Exceso de inventario: Acumulación innecesaria de materiales crudos, en proceso o finalizados que requieren de gestión y espacio adicional.
- Transporte innecesario: Movilización de materiales o productos que no aporta valor.
- Defectos: Corrección de errores en materiales o la repetición de procesos.
- Desperdicio en procesos: Actividades que no mejoran el producto o servicio para el cliente.
- Movimientos inútiles: Desplazamientos de personal o maquinaria que no son productivos.
- Desaprovechamiento de habilidades: No utilizar plenamente las capacidades creativas, físicas y mentales del personal.

Para el caso del proyecto de estudio, se considera el tiempo de calentamiento como un desperdicio, y puede ser identificado como un tiempo de espera, donde el operador debe esperar a que caliente el agua de proceso sin hacer ninguna actividad para continuar su proceso.

2.3.2 Mejora continua

(Proaño Villavicencio, Gisbert Soler, & Pérez Bernabeu, 2017) explican que la mejora continua implica realizar un examen detallado de las áreas susceptibles de optimización, identificando los desafíos a abordar. A partir de esta identificación, se debe elaborar un plan de acción compuesto por metas claras, tareas específicas, personas encargadas y métricas de desempeño que faciliten una evaluación constante. Este proceso debe ser diseñado para lograrse en un plazo establecido y seguir una serie de pasos ilustrados en la Figura 10.



Figura 10 Procedimiento de mejora Fuente: (Villavicencio, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017)

2.3.2.1 5W2H

La metodología 5W+2H, según (PROGRESSA LEAN, 2014) se basa en siete interrogantes clave en inglés que se explican de la siguiente manera:

What / QUÉ? Consiste en redactar una descripción concisa del problema actual, limitada a un máximo de dos líneas.

When / CUÁNDO? Determinar el momento específico en que el problema se hace evidente, ya sea durante una etapa particular del día o en un punto específico del proceso.

Where / DÓNDE? Identificar el lugar exacto donde se manifiestan los problemas, ya sea en una línea de producción, una máquina específica o una ubicación concreta.

Who / QUIÉN? Establecer a quién afecta el problema y si está vinculado a las competencias del personal involucrado.

Why / POR QUÉ? Analizar las causas que originan el problema.

How / CÓMO? Describir en qué se diferencia la situación problemática del estado óptimo y si el patrón de aparición del problema es aleatorio o sigue una tendencia específica.

How Much / CUÁNTO? Calcular la frecuencia con la que ocurren los problemas y el impacto económico que representan, ya sea diario, semanal o mensual.

2.3.2.2 Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama de espina de pescado es una herramienta gráfica utilizada principalmente para facilitar el análisis organizacional. Su uso más frecuente es la identificación de la raíz de los problemas. El objetivo del diagrama es asistir al equipo en la detección de las verdaderas causas de los cuellos de botella que afectan a los procesos de la empresa, tanto operativos como organizacionales. En esencia, busca revelar las causas subyacentes de situaciones adversas para poder abordarlas efectivamente (Salesforce Latam, 2022).

2.3.2.3 Value Stream Mapping (VSM)

El mapeo de la cadena de valor facilita la visualización tanto del estado presente como del proyectado del sistema productivo, con la finalidad de que los usuarios comprendan mejor cuáles son las actividades superfluas que deben ser suprimidas. Esta metodología, eficaz y de fácil manejo, resalta y clarifica el valor auténtico del producto de manera única. Su principal ventaja radica en su practicidad y facilidad de uso (García Cantó & Amador Gandia, 2019).

García Cantó y Amador Gandia (2019) detallan los siguientes pasos para llevar a cabo el mapeo de la cadena de valor:

- Elegir un sector productivo clave para el análisis.
- Elaborar un mapa del estado presente de la cadena de valor.
- Examinar la documentación que ya se encuentra en uso.
- Distinguir los procesos fundamentales que conforman la cadena de valor.
- Determinar y recopilar los datos necesarios que faltan.
- Acumular la información relevante.
- Analizar el mapa actual para entender el estado presente.
- Desarrollar un mapa del estado futuro deseado.

- Calcular el Tack Time para sincronizar la producción con la demanda.
- Fijar el tiempo objetivo para las operaciones.
- Aplicar herramientas de mejora para optimizar el proceso.

2.3.2.4 Single Minute Exchange of die (SMED)

La metodología SMED se enfoca en minimizar el llamado tiempo de cambio, que es el periodo que va desde que se termina de producir la última unidad aceptable de un lote, hasta que comienza la producción de la primera unidad aceptable del siguiente lote a la velocidad estándar. Este tiempo incluye no solo las tareas de cambio, sino también cualquier avería, ajuste preventivo o actividad que ocurra mientras la máquina está detenida. Las tareas realizadas durante este tiempo se clasifican como internas, y las que se llevan a cabo con la producción ya en curso, como externas. Por lo tanto, la metodología SMED busca optimizar y acortar al máximo el tiempo de cambio, priorizando los ajustes que se realizan con la producción en marcha. Antes de implementar la herramienta SMED, se identifican las áreas del proceso productivo donde se pierde tiempo productivo y, tras detectarlas, verificar mediante la medición de la productividad cuáles son esos desperdicios y cuantificarlos (Hernandez, 2022).

Una técnica altamente efectiva para discernir los componentes de un proceso es filmarlo, lo que permite comprender las tareas realizadas tanto individualmente por los trabajadores como colectivamente en grupo. A la par de la filmación, la inclusión de observadores puede ayudar a detectar detalles adicionales que el video no logre capturar. La tarea colaborativa del equipo consiste en identificar las labores desempeñadas, el tiempo que toma llevarlas a cabo y elaborar un inventario detallado de estos elementos, que documente cada aspecto del cambio en los equipos y su impacto temporal (Hernandez, 2022).

2.4 Seis sigma esbelto

Algunos autores (Navarro Albert, Gisbert Soler y Pérez Molina, 2017) explican que Seis Sigma es una estrategia enfocada en la evaluación y el perfeccionamiento de la calidad. Se caracteriza por ser un enfoque sistemático y fundamentado en el análisis de datos para alcanzar un nivel de calidad óptimo. Este nivel se logra mediante una revisión detallada de

los procesos de producción. Seis Sigma abarca áreas como el diseño, la comunicación, la capacitación, la producción y la gestión. La adopción de esta metodología demanda, esencialmente, dedicación y compromiso. Además, implica una inversión inicial que se traducirá en ahorros significativos para la empresa y mejoras en sus procedimientos internos.

2.4.1 DMAIC

Seis sigma se rige mediante una metodología principal llamada DMAIC, según (Socconini, 2023) DMAIC representa un método estructurado y orientado al análisis de datos que facilita a las empresas la consecución de procesos excelentes y el avance constante. Este enfoque implica identificar problemas (D), evaluar el desempeño (M), análisis de las causas fundamentales (A), implementar soluciones (I) y aplicar controles para mantener las mejoras (C), DMAIC por sus siglas en inglés. Es una herramienta clave para los expertos en Seis sigma esbelto, permitiéndoles convertir desafíos en posibilidades de desarrollo. Funciona como un esquema que ayuda a las organizaciones a optimizar sus operaciones, disminuir errores, elevar la calidad y, finalmente, entregar mayor valor a sus clientes y a las organizaciones involucradas. La adopción de DMAIC es más que una simple técnica; es una promesa hacia la mejora incesante y la excelencia en la gestión. Consta de cinco etapas y se aplica para abordar y perfeccionar procesos complejos.

Se retoman las ideas que propone (Arteaga, 2023) para comprender de qué trata cada paso.

La fase inicial en el proceso de mejora de Seis sigma esbelto es la *Definición*. Aquí, el equipo del proyecto establece el marco del proyecto, elabora un esquema general del proceso y precisa lo que los clientes esperan del mismo. Se dialoga con los involucrados para determinar la variable Y del proyecto, y se ajusta el enfoque del proyecto para que esté en consonancia con las metas de la dirección de la organización antes de avanzar a la etapa de Medición.

La *Medición* es decisiva durante todo el proyecto, ya que ofrece una visión clara de la eficacia del proceso y señala dónde pueden estar los problemas. El equipo recoge datos enfocándose

en la duración de los tiempos muertos o en la calidad percibida por los clientes. Antes de pasar al Análisis, se establecen las métricas y se evalúa el rendimiento actual del proceso.

El *Análisis* permite a los equipos descubrir soluciones efectivas; se emplean técnicas como el diagrama de Ishikawa y los cinco porqués para identificar las causas fundamentales que necesitan resolverse.

En la fase de *Mejora*, el equipo pone en práctica estrategias para abordar las causas identificadas. Se perfeccionan las ideas de solución, se prueban cambios piloto, se implementan mejoras y se recopilan datos para verificar una mejora tangible. Este proceso estructurado puede llevar a innovaciones significativas que optimicen el estándar de referencia y la experiencia del cliente.

Finalmente, con las mejoras en marcha y el problema resuelto, el equipo trabaja para sostener los logros y actualizar las prácticas óptimas. Durante la fase de *Control*, se desarrolla un plan de seguimiento para monitorear el éxito del proceso mejorado y se prepara un plan de contingencia para cualquier declive en el rendimiento. El propietario del proceso se encarga de supervisar y mejorar continuamente el método establecido.

Capítulo 3: Metodología Seis sigma esbelta

3.1 Tipo de investigación

El alcance de esta investigación es de tipo correlacional porque permite identificar la relación entre 2 o más variables: La implementación del proyecto de mejora, considerada la variable independiente de este estudio y tiempo de calentamiento del agua de las barcas, así como la disponibilidad del equipo como variables dependientes. Este alcance también permite predecir en cierta medida el efecto de una variable sobre otra, ya que como explica (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014) “el hecho de saber que dos conceptos o variables se relacionan aporta cierta información explicativa”, es decir, en qué medida la implementación de la mejora reduce el tiempo de calentamiento de las barcas y aumenta el tiempo de disponibilidad de la línea de acabado.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de este estudio es experimental por que se manipula la variable independiente, es de tipo cuasiexperimental debido a que se tomaran como referencia las mediciones previas del último trimestre del año 2023, y el primer trimestre del 2024 para determinar el impacto en las variables dependientes que son el tiempo de calentamiento y la disponibilidad del equipo.

Este diseño esta alineado con el cumplimiento del objetivo, toda vez que se pretende implementar una mejora en el proceso de calentamiento para valorar su efecto en la disponibilidad de la máquina.

3.3 Población y muestra

Según Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, y Baptista Lucio (2014) En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador.

En este estudio la muestra se limita al desarrollo del experimento y es de tipo dirigido, las muestras constituyen las mediciones de tiempos de calentamiento de agua de proceso, realizadas en el último trimestre del año 2023 y primer trimestre del año 2024 de manera diaria y obteniendo un promedio de dichos datos , con base en estos datos es como se justificará la viabilidad del proyecto de mejora, una vez instalado dicho proyecto, se tomarán los datos de manera diaria durante 3 meses y se evaluará el porcentaje de mejora con respecto a las muestras previas antes mencionadas.

3.4 Diseño Experimental

Sabiendo que el diseño de la investigación es cuasiexperimental, a continuación, se muestra en la

Figura 11 la relación de la variable dependiente con las independientes:

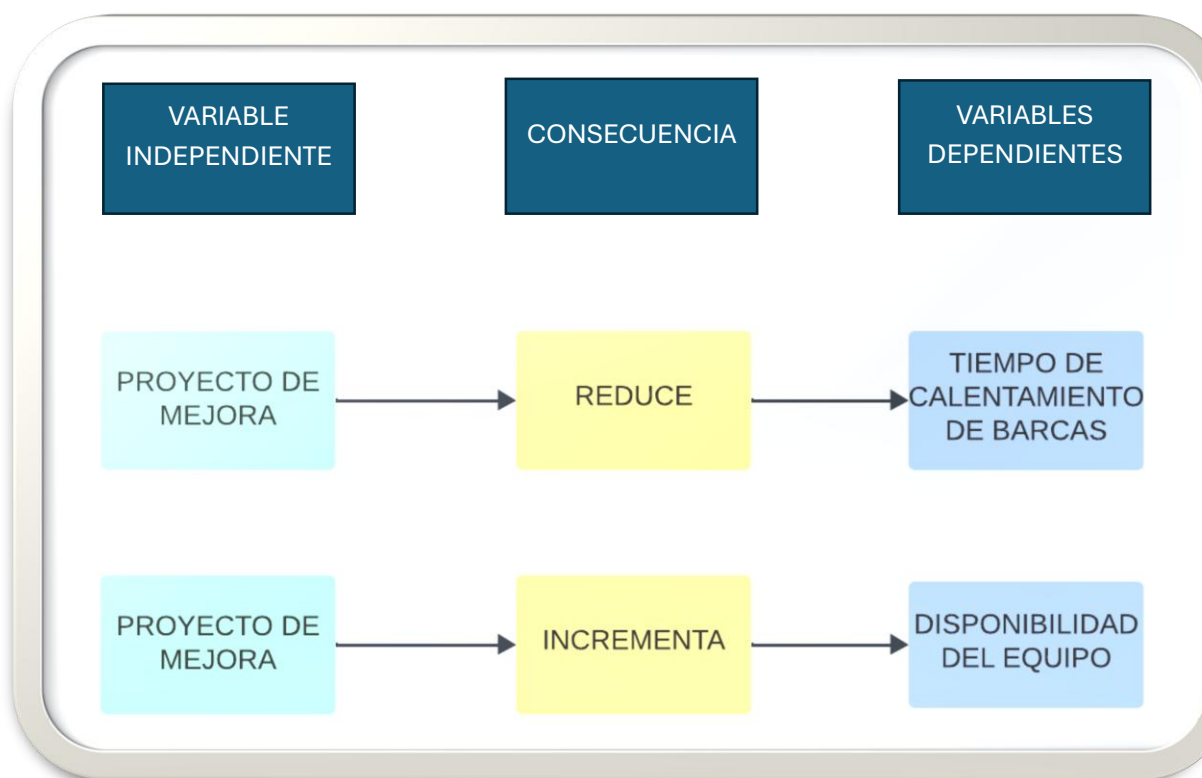


Figura 11 Relación de variables del diseño de investigación (fuente: Elaboración propia)

3.5 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.

En este estudio las variables independientes son el tiempo de calentamiento y la disponibilidad de la máquina, se espera que la primera disminuya luego de aplicar el plan de acción, mientras que la segunda debe aumentar.

Las mediciones de estas variables se realizarán a través de la plataforma web PCMS de la empresa textil, el sistema de información descarga mediante un servidor en tiempo real las variables del proceso, están interconectas mediante protocolos de comunicación Profibus a todos los PLC de las máquinas.

Dicha información puede ser obtenida y descargada en archivos de Excel, en la Figura 12 se pueden observar las distintas variables del proceso que afectan la disponibilidad del equipo.

DEPARTAMENTOS

- Mantenimiento
- Producción
- Calidad

REPORTES

- Producción
- Análisis de Datos
- Calidad

SUPERVISOR

- Evaluación de Desempeño

REPORTE DE FALLAS

LoneStar Acabado Maquina

21/10/2024 15:00 21/10/2024 22:30 HT

Buscar

Falla

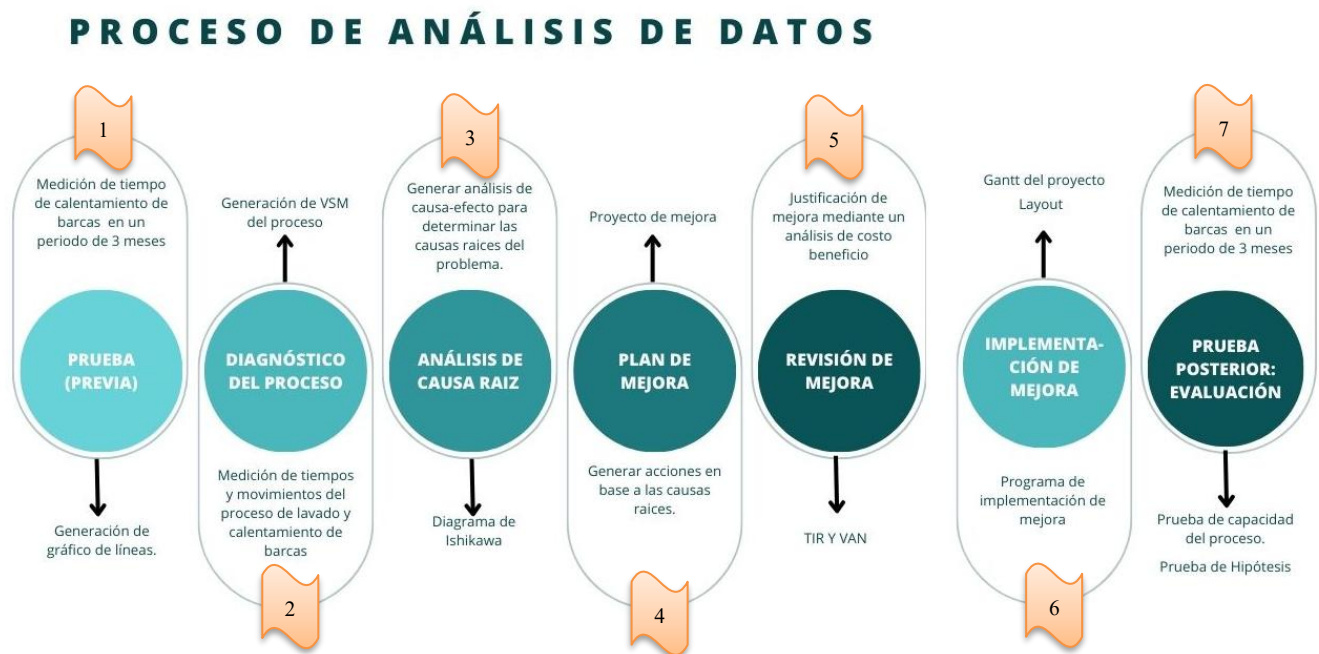
- Falla
- Mantenimiento Correctivo
- Falta de Servicios
- Falta de Personal
- Cambio de Caballetes
- Falta de Programa
- Falta de Materiales Indirectos
- Cambio de Turno/CIL
- Lavado de Barcas/Limpieza de filtro
- Lavado de Backinadora
- Capacitación
- Mantenimiento Preventivo/DTM
- Calentamiento de barcas
- Paro técnico
- Cambio de Pasaje Acumulador
- Paro por Acumulador de Tela

Máquina	Solicitante	Nómina	Falla	Categoría	Descripción	Fecha de Cre
Lo sentimos - No se encontró información						
No hay información disponible						

Descargar

Figura 12 Variables de paro de los equipos (fuente: Elaboración propia)

3.6 Procesamiento y análisis de datos.



3.7 Figura 13 Proceso de análisis de datos (fuente: Elaboración propia)

Figura 13 se representa el proceso de análisis de datos del proyecto:

Etapas 1: Prueba previa

En esta etapa se obtendrán los tiempos de calentamiento de barcas del primer trimestre del año 2024, los datos serán obtenidos desde la plataforma PCMS de la empresa en formato de Excel, en la Tabla 1 se observa la información que se va a registrar en cada evento de calentamiento de barcas en el periodo de 3 meses.

MÁQUINA	SOLICITANTE	NÓMINA	FALLA	CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	FECHA DE CREACIÓN	USUARIO DE CIERRE	TIEMPO ACTIVO(min)

Tabla 1 Formato de registro de tiempos de calentamiento de barcas (fuente: Elaboración propia)

Una vez completada la tabla con la información se procede a realizar un gráfico de líneas, se obtendrá el valor de tiempo por cada evento que se tenga de calentamiento, también se sacará un promedio de todos los eventos y se pondrá como línea referencia para poder analizar los picos altos y bajos del gráfico. La Figura 14 representa el tipo de grafico que se pretende mostrar.

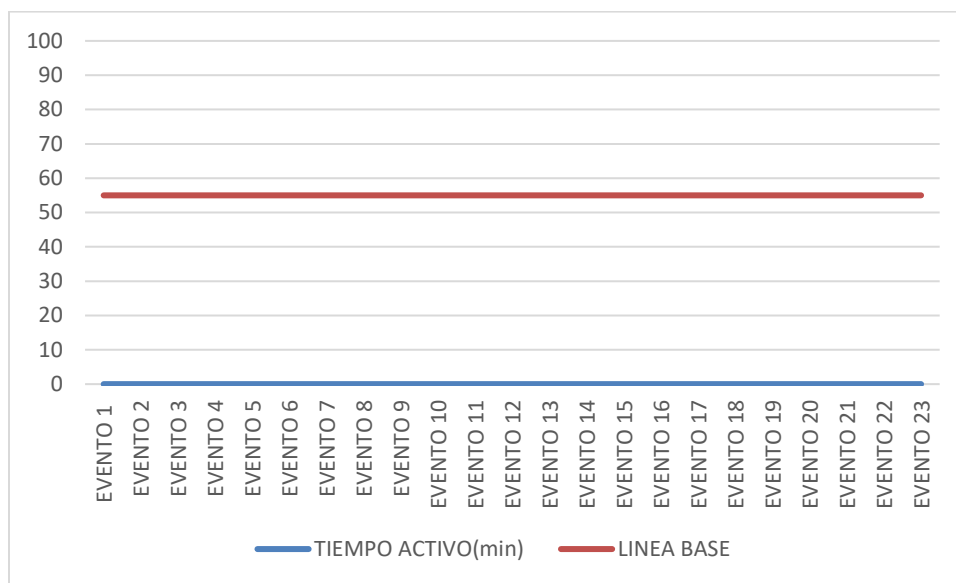


Figura 14 Gráfico de líneas por eventos de calentamiento de barcas (fuente: Elaboración propia)

Etapa 2: Medición del tiempo del proceso

En esta etapa se hará un VSM el cual permite identificar según (Medina, 2023) la situación actual del sistema productivo. El conocimiento en detalle estos flujos de material e información posibilita la detección de desperdicio y cuellos de botella, y ayuda a detectar oportunidades de mejora en nuestra cadena de valor, para el diseño óptimo de una situación futura que, seguro, brindará mejores resultados. Como menciona el autor lo importante es conocer al 100% el proceso actual esto ayudará a identificar posibles fugas en el proceso que están afectando a nuestra variable dependiente, se evaluó también la opción de realizar un estudio de SMED pero al final el VSM es el que genera más valor a este tipo de proyecto de mejora.

Los beneficios de usar VSM radican en identificar de una forma visual todo el flujo del proceso, los tiempos entre actividades deben ser visibles y claros.

Para poder determinar en qué parte del proceso de lavado se implementará la mejora es necesario conocer los subprocesos con tiempos y movimientos, a continuación, se muestra en la Figura 15 la herramienta que permitirá analizar el proceso:

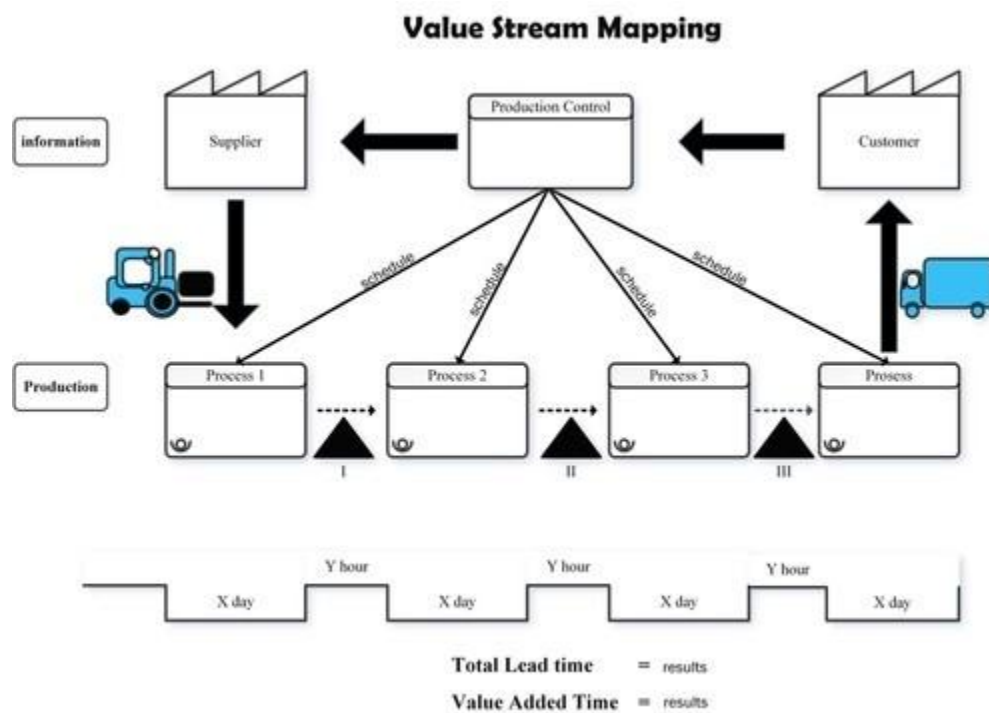


Figura 15 Modelo de mapeo de procesos VSM, Fuente: (AndesLean, 2023)

Estos son los objetivos primordiales del VSM:

- Visualización Integral del Proceso.
- Detección y Minimización de Desperdicios.
- Promoción de un Flujo Optimizado.
- Establecimiento de una Fundación para la Mejora Continua.

Etapa 3: Análisis de causa raíz del problema.

En esta etapa, una vez que se conoce el proceso de inicio a fin y se tiene identificado en que parte del proceso tenemos más pérdidas, se utilizará una herramienta de análisis causa y efecto llamada diagrama de Ishikawa la cual permitirá encontrar las posibles causas raíces del problema, es importante hacer mención que en el proceso no existen errores, recordar el objetivo de la tesis es reducir el tiempo de calentamiento de barcas en el proceso de lavado por lo que pueden existir distintas vías de solución que permitan dicha reducción.

En la Figura 16 se muestra el esqueleto que se realizará para el análisis de causa raíz:

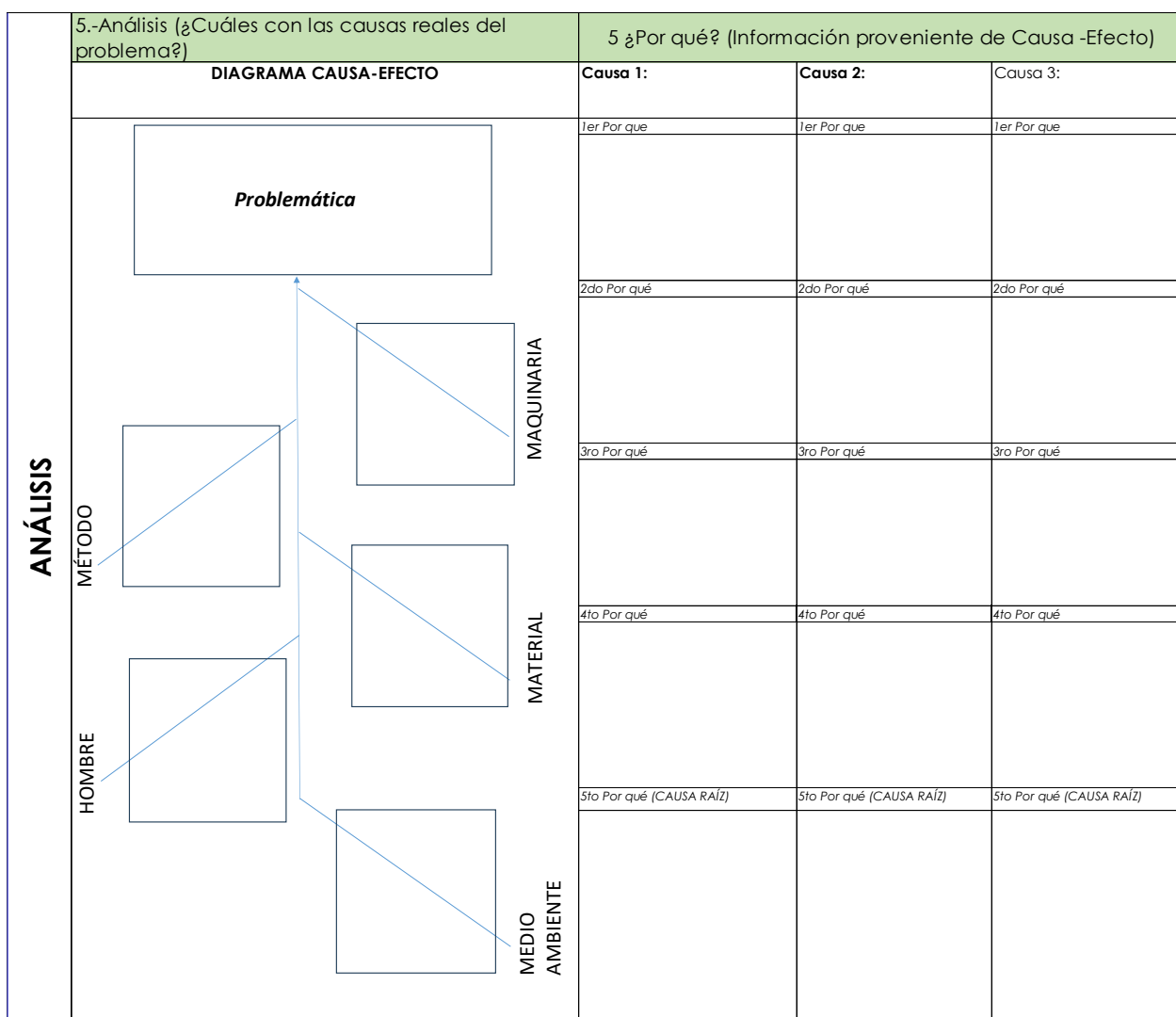


Figura 16 Diagrama de Ishikawa, Fuente: Elaboración propia

Etapas 4: Plan de mejora.

Para esta etapa se realizará un plan de acción con apoyo del análisis causa raíz de la etapa anterior y basada en una herramienta de análisis de proyectos con la metodología DMAIC, la cual permitirá evaluar dicho análisis. El Storyboard es un proceso instalado en la organización y está dividido en 6 etapas:

1. Presentación del proyecto: Nombre del proyecto de mejora, equipo de trabajo, variable independiente del proyecto de mejora.
2. Definición: Descripción breve del problema, línea base de la variable independiente y se presenta un objetivo SMART (Sostenible, Medible, Preciso, Confiable y en un tiempo determinado) que complementan nuestros objetivos de la investigación.
3. Medición: Se presentan Pareto de primer y segundo nivel que ayuden al análisis del problema.
4. Análisis se presenta el análisis de la etapa previa dentro del Storyboard del proyecto.
5. Mejora: Se presenta la causa raíz del proyecto y el plan de acción como proyecto de mejora.
6. Control: Una vez implementado el proyecto se instala las acciones para control y seguimiento del proyecto.

En la Figura 17 se muestra la distribución de los 6 puntos:

Etapa 5: Revisión del proyecto de mejora.

Una vez que se tiene el plan de acción y considerando que al ser un proyecto de mejora será necesario invertir en el proceso, para esta etapa se realizará un análisis de costo beneficio mediante las herramientas TIR y VAN para evaluar la viabilidad del proyecto y obtener en cuanto tiempo se recuperaría la inversión.

Según Fernandez de la Cigoña (2023) “La TIR es un indicador de rentabilidades de proyectos, de manera que cuanto mayor sea la TIR mayor será la rentabilidad. El cálculo de la tasa interna de rentabilidad facilita la toma de decisiones sobre la inversión a realizar” (párr.6).

Según (Sierra, 2024):

El VAN es la diferencia entre el valor actual de los flujos de caja generados por una inversión y el costo inicial de dicha inversión. Si el resultado es positivo, significa que la inversión generará más valor del que cuesta, y por tanto, es una inversión rentable. Si el resultado es negativo, la inversión no recupera su costo y no debería llevarse a cabo.
(párr.3)

En la Figura 18 se muestra el formato que se utilizará para evaluar si es proyecto es rentable.

Análisis de rentabilidad del proyecto											
TASA DESCUENTO	8%										
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión											
Ingresos por disponibilidad		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastos fijos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUJOS DE CAJA LIBRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VA	$+B11/(1+\$B\$4)^{B5}$	$11/(1+\$B\$4)^{11}$	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VAN	$=SUMA(B14:L14)$										
VAN	0.0										

0.0

TASA DESCUENTO	8%										
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	0										
Ingresos por disponibilidad		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastos fijos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUJOS DE CAJA LIBRES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VAN	$=VAN(B20;C27:L27)+B27$										
VAN	0.0										
TIR	$=TIR(B27:L27)$										
TIR	#NUM!										

Figura 18 TIR y VAN del proyecto de mejora, Fuente: Elaboración propia

Etapas 6: Implementación del proyecto de mejora.

En esta etapa, ya validado el proyecto de mejora, se realizará un diagrama de Gantt con las actividades del proyecto y fechas para su ejecución.

La importancia de realizar este diagrama radica en tener una planeación previa a la ejecución del proyecto que nos permita programar los paros en las líneas de producción de manera anticipada.

En la Figura 19 se muestra el bosquejo del diagrama que se implementará.

PROYECTO: DISMINUCION DE TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE BARCA FI/LSS-24-011										
RESPONSABLE DEL PROYECTO:										
CONTRATISTA:										
DESCRIPCIÓN DEL HITO	ASIGNADO A	PROGRESO	INICIO(FECHA)	DÍAS	ACTIVIDAD	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	
ACTIVIDAD 1	RESPONSABLE	%	DIA/MES/AÑO		P					
					R					
ACTIVIDAD 2	RESPONSABLE	%	DIA/MES/AÑO		P					
					R					
ACTIVIDAD 3	RESPONSABLE	%	DIA/MES/AÑO		P					
					R					

Figura 19 Diagrama de Gantt del proyecto, Fuente: Elaboración propia

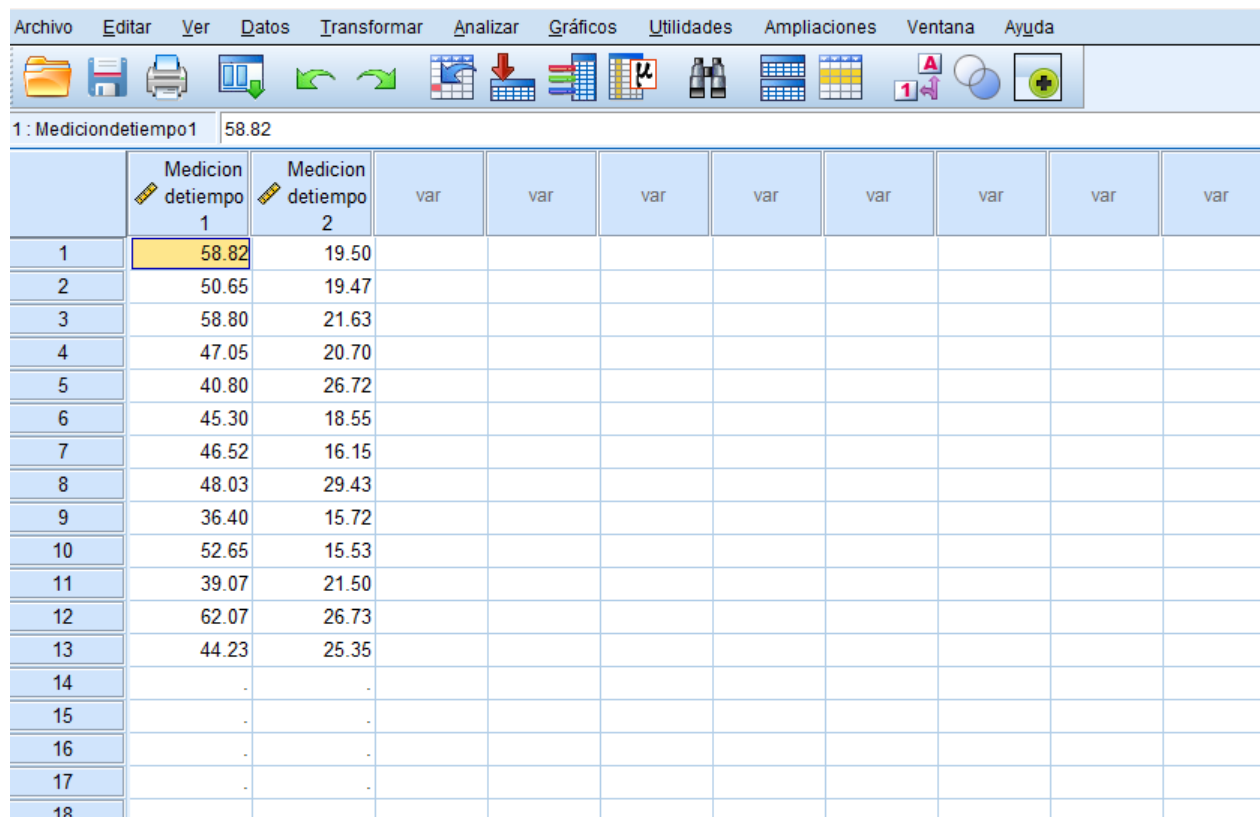
Etapas 7: Evaluación o Prueba posterior

En este proceso se volverán a ejecutar las tablas de las figuras Tabla 1 Formato de registro de tiempos de calentamiento de barcas (fuente: Elaboración propia)

y la Figura 14, que nos permitirán volver analizar los datos después de la ejecución del proyecto de mejora.

Se realizará un análisis de prueba de hipótesis para comparar medias entre la base de datos inicial y la final para obtener el nivel de autoestima y la confiabilidad de las nuevas mediciones de la mejora del proceso

Para realizar dicho estudio se utilizará el programa de SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), en la siguiente Figura 20 , se harán las capturas de las mediciones previas en una columna seguidas de las mediciones posteriores del proyecto de mejora.



	Medicion detiempo 1	Medicion detiempo 2	var	var	var	var	var	var	var	var
1	58.82	19.50								
2	50.65	19.47								
3	58.80	21.63								
4	47.05	20.70								
5	40.80	26.72								
6	45.30	18.55								
7	46.52	16.15								
8	48.03	29.43								
9	36.40	15.72								
10	52.65	15.53								
11	39.07	21.50								
12	62.07	26.73								
13	44.23	25.35								
14	-	-								
15	-	-								
16	-	-								
17	-	-								
18										

Figura 20 Mediciones previas y posteriores del proyecto de mejora; Fuente: Elaboración propia

La prueba t representada en la Figura 21, para muestras independientes en el paquete estadístico SPSS se encuentra en el menú Analizar /Comparar medias / Prueba T para muestras relacionadas.

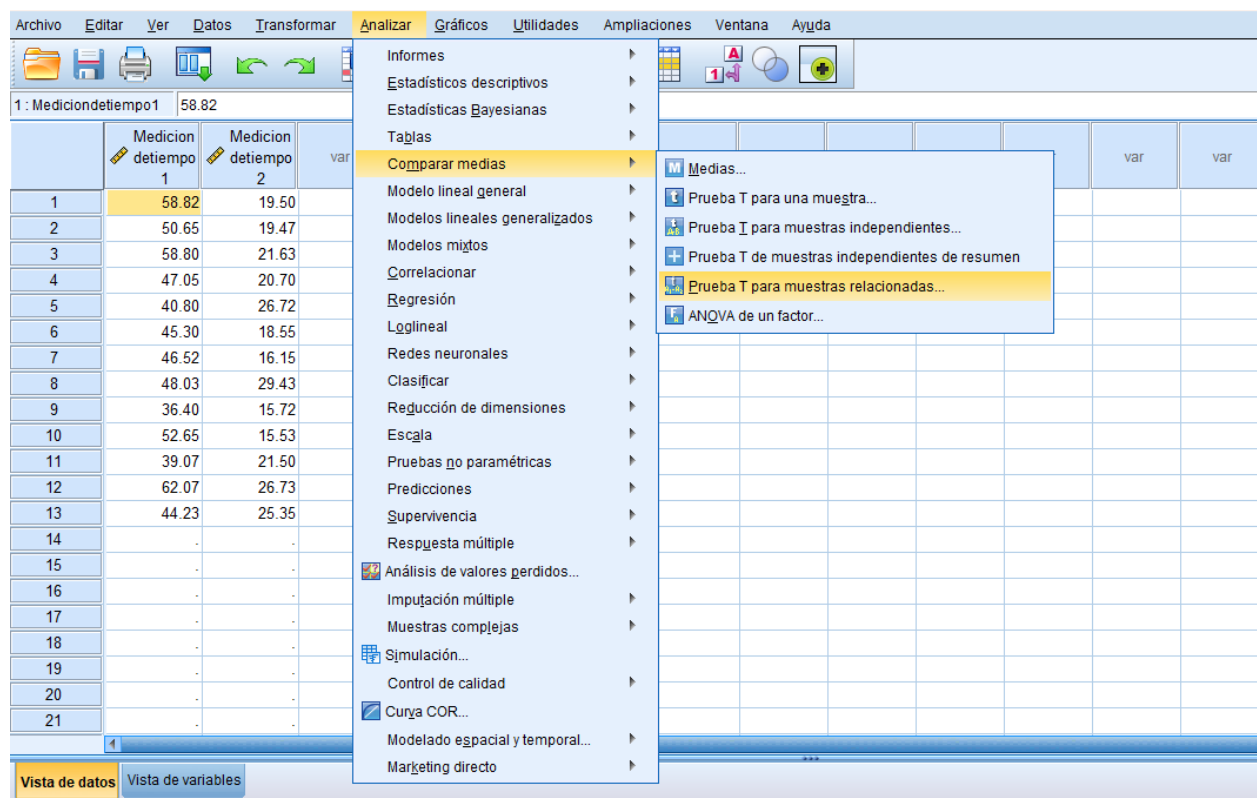


Figura 21 Prueba T Fuente: Elaboración propia

Finalmente, En la base de datos se debe tener la medición de la escala de autoestima (V. D.) en los dos momentos que fue evaluada, reflejadas aquí como VD1 (medición 1) y como VD2(medición 2), se deben elegir ambas variables e incluirlas en la sección de Variables emparejadas como se muestra en la Figura 22.

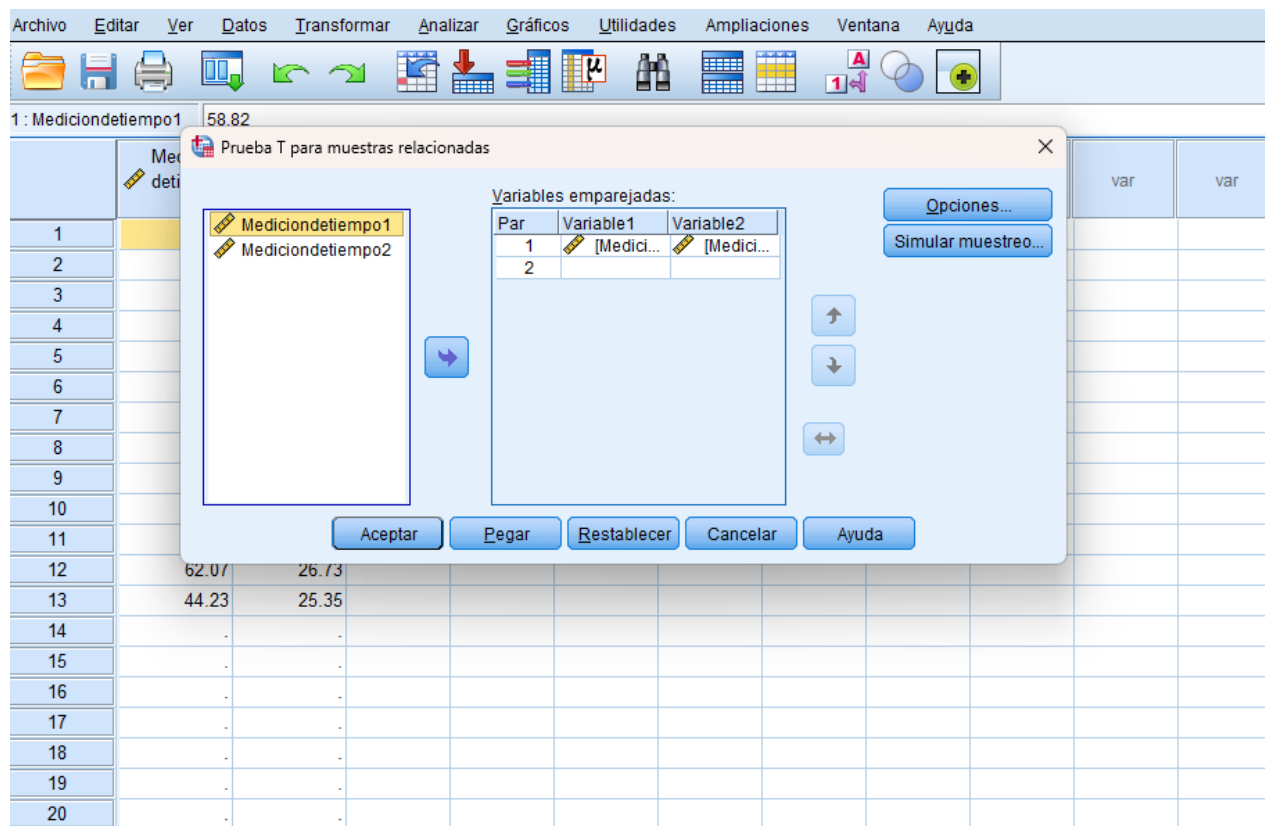


Figura 22 Selección de muestras/variable independiente del proyecto de mejora; Fuente: Elaboración propia

El reporte que se mostrará del análisis de datos está representado mediante la siguiente Figura 23.

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Mediciondetiempo1				
	Mediciondetiempo2				

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Mediciondetiempo1 & Mediciondetiempo2			

Prueba de muestras emparejadas

			Diferencias emparejadas			99% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio		
Par 1	Mediciondetiempo1 - Mediciondetiempo2					

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas 99% de intervalo de confianza de la diferencia Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Mediciondetiempo1 - Mediciondetiempo2				

Figura 23 Prueba T de muestras relacionadas; Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Implementación y análisis del proyecto de mejora

Etapa 1: Prueba previa

Para la primera etapa se presenta la base de datos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del tiempo de calentamiento de barcas del primer trimestre del año 2024, obtenido del sistema PCMS como lo plantea la metodología.

En el anexo A se encuentra el registro de los tiempos de calentamiento de enero-marzo 2024.

Para entender el comportamiento de la variable independiente se representa mediante un gráfico de líneas como se muestra en la siguiente Figura 24 y tomando como referencia el tiempo objetivo actual de la base de datos antes presentada.

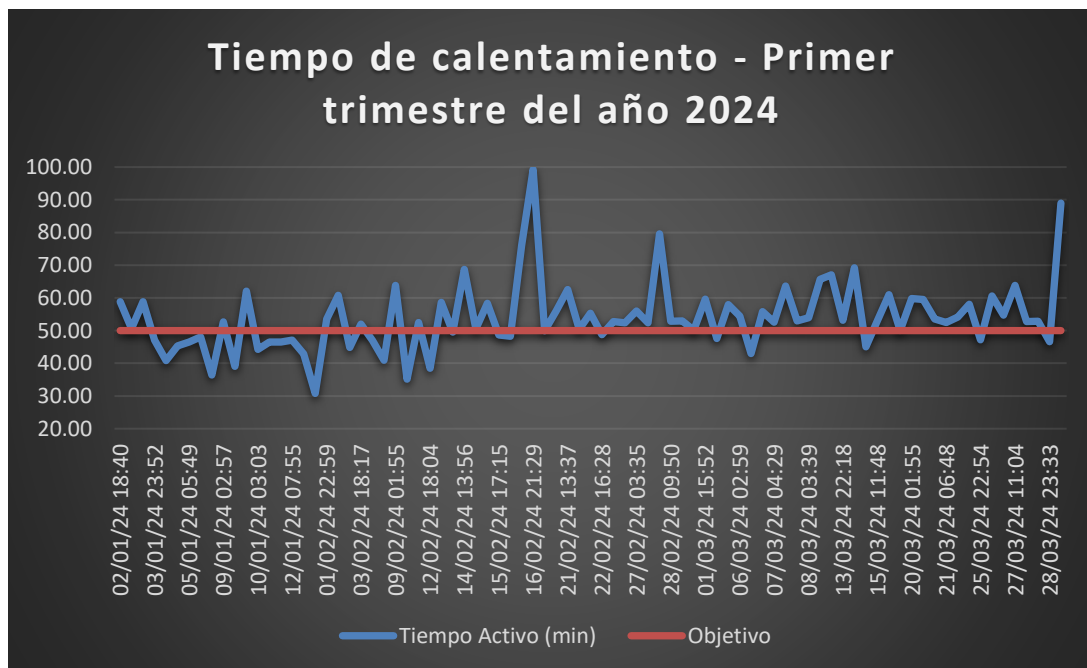
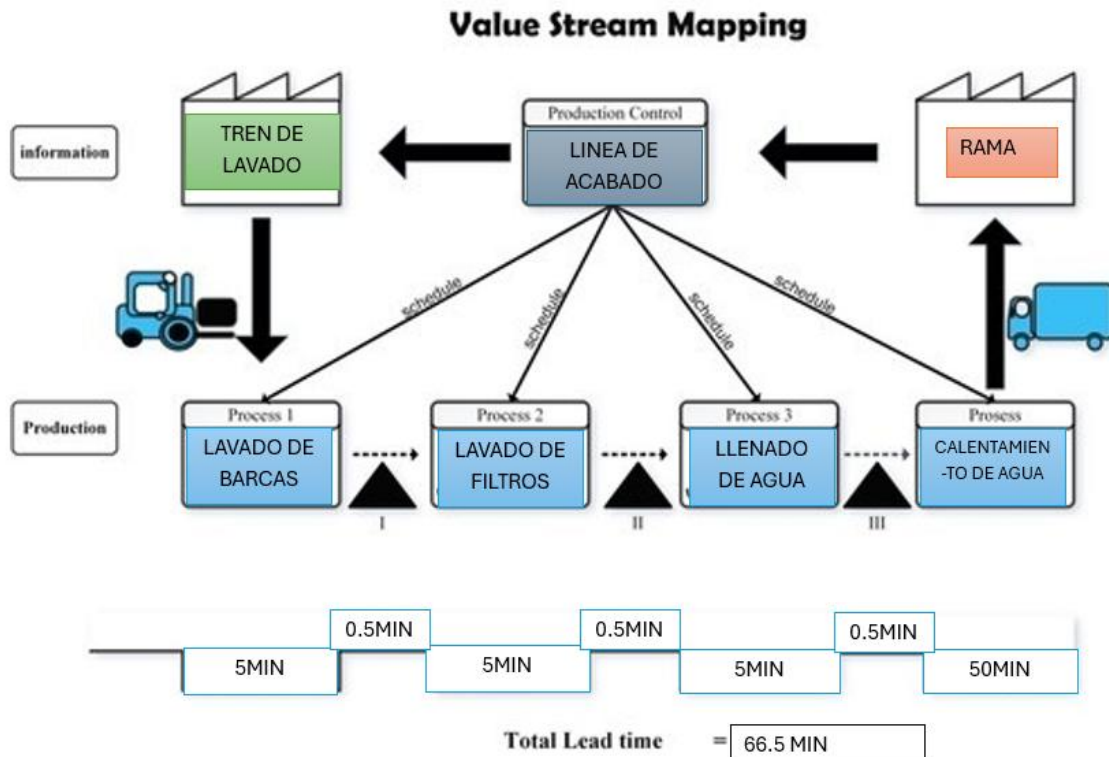


Figura 24 Gráfico de tiempo de calentamiento de barcas del primer trimestre del año, Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 24 la variable de estudio es muy inconsistente, y carece de un proceso estable y confiable, esto genera grandes pérdidas de disponibilidad del equipo y por lo tanto menores utilidades para la organización.

Etapa 2: Medición del tiempo del proceso



Etapla 3: Análisis de causa raíz del problema.

En esta etapa y ante el evidente problema de inconsistencia de la variable de estudio, y teniendo claro los tiempos del proceso explicados en la etapa 2, procedemos a realizar un análisis del problema mediante un diagrama de Ishikawa con el objetivo de identificar las causas potenciales del problema.

El diagrama de Ishikawa fue elaborado con un equipo multidisciplinario de producción y mantenimiento de la organización, dando como resultado 3 causas raíz potenciales que hacen que el proceso sea inconsistente, centrando el estudio en dichas causas, a continuación, se enlistan y se muestra el análisis obtenido en la Figura 25.

Causas raíz potenciales para desarrollar el proyecto de mejora:

1. **Capacidad de drenaje y diseño:** La infraestructura no es la adecuada para realizar el proceso de descarga de manera simultánea.
2. **Descarga de barca 3 retrasa el tiempo de calentamiento:** Como se muestra en la etapa 2 es evidente que el tiempo de calentamiento se ve afectado ante el retraso de la barca 3 en su proceso de descarga.
3. **Limitación e inconsistencia de la caldera actual.** Se identifica que el suministro de vapor está limitado a dos bar de presión, haciendo el tiempo de calentamiento muy lento.

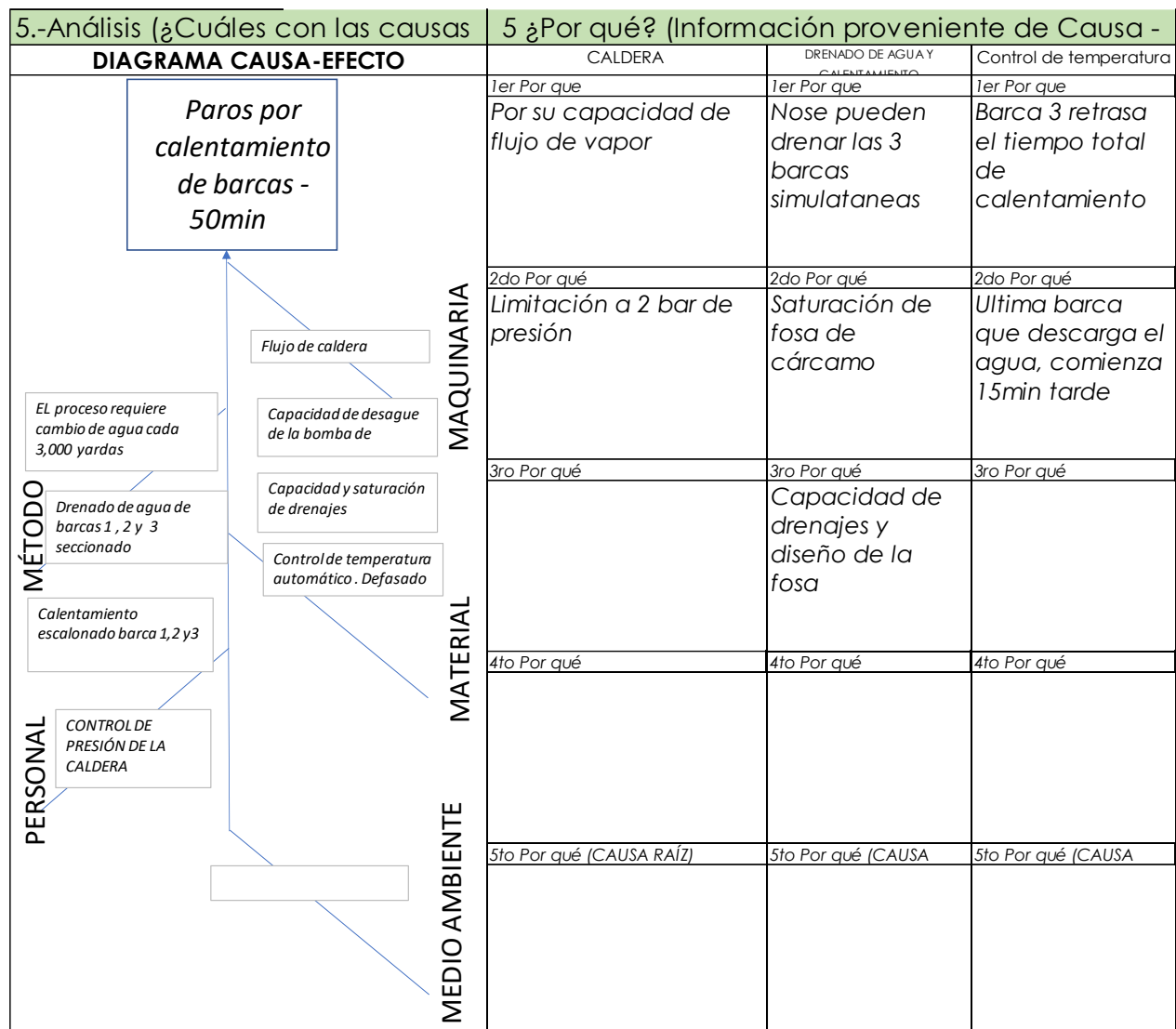


Figura 25 Análisis de Ishikawa del tiempo de calentamiento de barcas, Fuente: Elaboración propia.

Etapa 4: Plan de mejora.

Una vez que se definieron las causas raíz y apoyado de la metodología de seis sigma DMAIC se integra el proyecto de mejora en una plantilla de proyecto, en la siguiente Figura 26 se muestran el plan de acción derivado de las causas raíz, este formato sustenta el proyecto de mejora bajo la metodología.

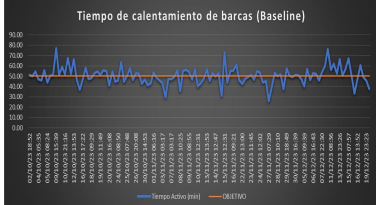
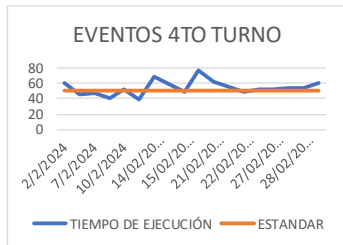
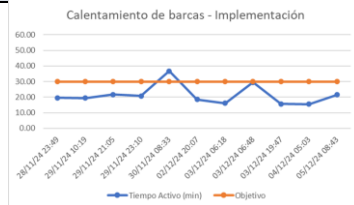
Seis sigma esbelto - Plantilla de proyecto								
Nombre del Proyecto:		Disminuir el tiempo de calentamiento de barcas		Analizar				
Código de Proyecto:		LSS-24-011	Fecha:	8/2/2024	50min por calentamiento de barcas	Causa 1:	Causa 2:	
Equipo del Proyecto:	César Castro					Caldera	Drenado de agua	
	Armando Alvarez				1er ¿Porqué?	1er ¿Porqué?		
			Maquinaria	Material	Capacidad el equipo	drenar las 3 barcas sim		
					2do ¿Porqué?	2do ¿Porqué?		
"Y" de Proyecto	Minutos por calentamiento de barcas					Limitado a 2 bar	Saturación de drenajes	
Definir						3er ¿Porqué?	3er ¿Porqué?	
Descripción del problema:		Se tienen paros por calentamiento de barcas debido a que se requiere hacer el cambio del agua de proceso en 3 tinas de lavado las cuales tienen una capacidad de 1,700 litros cada una, en los ultimos 3 meses el tiempo promedio por calentamiento de barcas es de 50.62 minutos				4to ¿Porqué?	4to ¿Porqué?	
Línea base:		50.62 minutos por calentamiento de barcas				5to ¿Porqué?	5to ¿Porqué?	
Objetivo (SMART):		Reducir el tiempo por calentamiento de barcas menor a 30minutos apartir del segundo semestre del año.		Mejorar				
				Causa Raíz:	CAPACIDAD DE DRENAJES SATURADOS			
				#	Solución	Estándar	¿Quién?	¿Cuándo?
				1	Incrementar Flujo de desagüe de barcas	111.23 l/s	CESAR C	30/06/2024
				2	Incremento de capacidad de fosa a 6m3	6000 litros	CESAR C	30/06/2024
				3	Mejora de filtrado y sistema de bombeo		CESAR C	30/06/2024
				4				
Medir				Controlar				
						Acciones permanentes		
Pareto 1er nivel / Sketch		Pareto 2do nivel / Herramienta 2do nivel		Desempeño de "Y"		1	Mantenimiento a fosa bimestral	
						2	Limimpieza de pichancha de manera diaria	
						3	Limpieza de filtros de cárcamo - Semanal	
						4		
Validación de Cierre				Lecciones Aprendidas				
Líder de Pilar CD	JOSE QUISTIAN	Líder de Proyecto	CÉSAR CASTRO					
Líder de Pilar FI	LUIS GUERRERO	Gerente General	MIGUEL MACIEL					

Figura 26 Storyboard del proyecto de mejora, DMAIC, Fuente: Elaboración propia

El plan de mejora se divide en 3 acciones principales según la metodología las cuales solucionan las 3 causas raíz principales del problema:

1. **Capacidad de drenajes y diseño de la fosa:** Se mejora el flujo de descarga del proceso de 6.86 litro por minuto a 111.2 litros por minuto incrementando el diámetro de las tuberías de descarga a 8 pulgadas, con el objetivo de lograr que las 3 barcas de agua del proceso puedan iniciar su proceso de calentamiento de manera simultánea, a continuación, se muestra en la Figura 27 un bosquejo de la nueva instalación y mejora de los sistemas de drenaje:

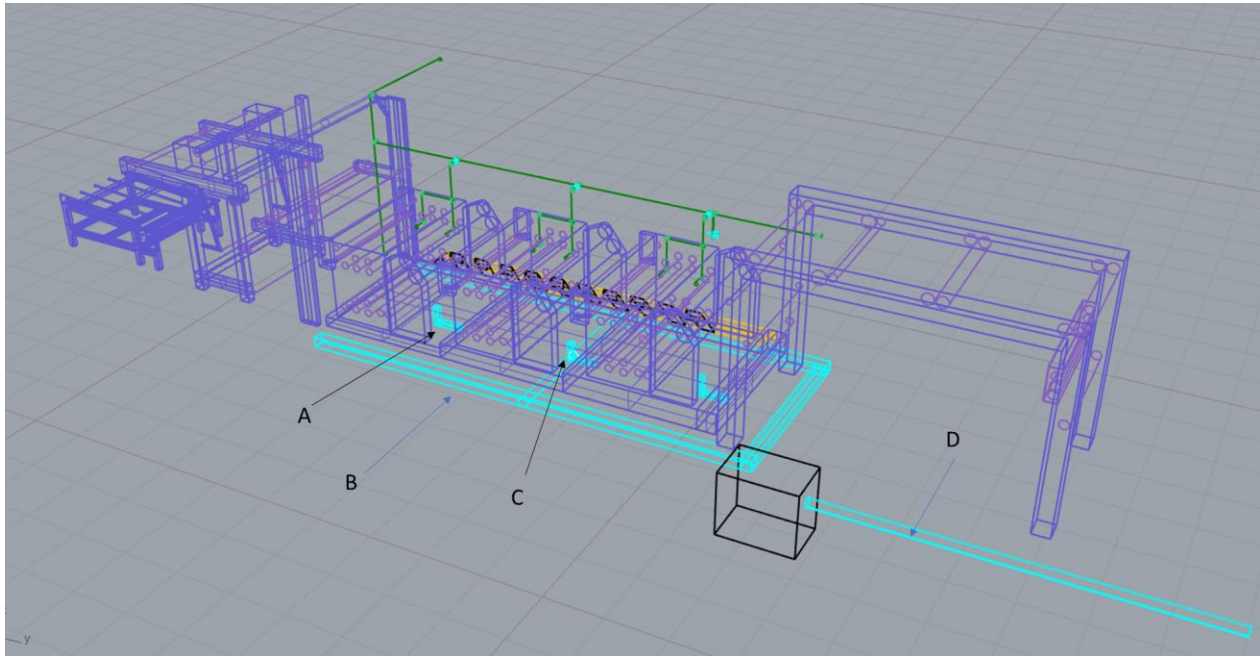


Figura 27 Nuevo sistema de drenaje de barcas, Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla 2 se muestran los flujos a lo largo del proceso de descarga:

SECCIÓN	DIÁMETRO	FLUJO	TIEMPO
A	4"	27.8 l/seg	1.019 min
B	4"	27.8 l/seg	1.019 min
C	4"	27.8 l/seg	1.019 min
D	8"	111.23 l/seg	0.25 min

Tabla 2 Flujos del sistema de drenaje, Fuente: Elaboración propia

2. **Barca 3 retrasa el tiempo de calentamiento:** Con la modificación de la infraestructura de descarga, también solucionaría esta causa raíz ya que logrando las descargas simultaneas seremos capaces de calentar más rápido.
3. **Limitación de presión de la caldera:** Debido a esta limitación se decidió instalar una nueva tecnología de calentamiento de agua de proceso que va a complementar a la actual, cada tina de lavado tendrá un control con resistencia eléctrica de 100kw de capacidad, dichas resistencias tendrán un recubrimiento de porcelana para soportar altas temperaturas y evitar que ensuciar el agua de proceso.

Etapa 5: Revisión del proyecto de mejora.

La metodología llevo a la implementación de un sistema hibrido para mejorar la variable independiente en base a la metodología, en el marco teórico se estudiaron otras tecnologías las cuales fueron descartadas por presupuesto en la siguiente Tabla 3 se muestran las alternativas en costos de otras tecnologías de calentamiento.

Proyecto de Calentamiento			
Propuesta	Tipo de implementación	Variable independiente	Costo del proyecto
Resistencias eléctricas	Nueva tecnología	20-30minutos	\$618,000.00
Quemadores de Gas	Nueva tecnología	30-40minutos	\$1,100,000.00
Energía Solar	Híbrida	15-25 minutos	\$1,600,000.00
Caldera	Actualización / mejor eficiencia	30-40 minutos	\$400,000.00
Híbrida	Actualización / Nueva tecnología	20-30 minutos	\$420,000.00

Tabla 3 Comparativa de costos de otras alternativas del proyecto de mejora. Fuente: Elaboración propia

Para efectos de implementación se seleccionó la propuesta de un sistema híbrido con base al desarrollo de la metodología y por temas de presupuesto era lo más viable.

Para la aprobación del proyecto de mejora, con la propuesta Híbrida y contemplando los 3 planes de acción se realiza un estudio de análisis costos, proyectando una mejora de disponibilidad de equipo reducción del tiempo de calentamiento en minutos de 55 minutos a 30 minutos, el costo de la implementación del proyecto de mejora es de 20,845 dólares y considerando instalar un sistema de mantenimiento preventivo a la mejora obtenemos que:

TIR 30%, es un proyecto altamente rentable y como se muestra en la Tabla 4 Análisis de costos TIR, VAN, Fuente: Elaboración propia el retorno de inversión estaría entre el tercero y cuarto mes, el VAN también es alto reafirmando la alta confiabilidad del proyecto de mejora.

Disminuir el tiempo de calentamiento de barcas											
TASA DESCUENTO	9%	MESES									
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-20,845										
Ingresos por disponibilidad equipo (1.4166%)		6,793	6,889	6,986	7,085	7,186	7,287	7,390	7,495	7,601	7,709
Mantenimiento Preventivo		0	-500	0	-500	0	-500	0	-500	0	-500
FLUJOS DE CAJA LIBRES	-20,845	6,793	6,389	6,986	6,585	7,186	6,787	7,390	6,995	7,601	7,209
VA	$+B11/(1+\$B\$4)^{B5}$	$11/(1+\$B\$4)^{B5}$	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
VA	-20,845	6,243	5,397	5,424	4,700	4,713	4,092	4,095	3,563	3,558	3,102
VAN	$=SUMA(B14:L14)$										
VAN	24,042.2										
Valor actual Neto		24,042.2									

TASA DESCUENTO	9%	MESES									
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-20,845										
Ingresos por disponibilidad equipo (1.4166%)		6,793	6,889	6,986	7,085	7,186	7,287	7,390	7,495	7,601	7,709
Mantenimiento Preventivo		0	-500	0	-500	0	-500	0	-500	0	-500
FLUJOS DE CAJA LIBRES	-20,845	6,793	6,389	6,986	6,585	7,186	6,787	7,390	6,995	7,601	7,209
VAN	$=VAN(B20;C27:L27)+B27$										
VAN	24,042.2										
TIR	$=TIR(B27:L27)$										
TIR	30.45%										

Tabla 4 Análisis de costos TIR, VAN, Fuente: Elaboración propia

Etapa 6: Implementación del proyecto de mejora.

Una vez autorizada la propuesta de proyecto y mejora y ante el evidente ahorro realizando estas mejoras, se presenta el gráfico de Gantt de implementación del proyecto, el proyecto tiene una duración de 3 semanas y será realizado en el mes de noviembre del 2024.

EMPRESA: PERENNIALS

ENCARGADO DEL PROYECTO : ING. CESAR CASTRO

EMPRESA CONTRATISTA : WEING

RESPONSABLE WEING : ING. EDUARDO RODRIGUEZ GOMEZ

DISMINUCION DE TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE BARCA FI/LSS-24-011 Y PINTURA PARA RAMA ACABADO

Gantt, Proyecto

CONSTRUCCIÓN				
PINTURA				
Descripción del ítem	Asignado a	Progreso	Inicio	Días
ANTICIPO CONSTRUCCIÓN				
REQUISICION PINTURA				
REQUISICION DE COMPRA DE MATERIALES, PARA INICIO DEL PROYECTO (TUBERIA, VALVULAS)	Ing. Eduardo Rodriguez	0%	04/11/2024	2
RECUPERACION DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS MECANICAS MANUALES	WEING	0%	05/11/2024	1
INICIO DE ACTIVIDADES RETIRAR EQUIPO EXCEDENTE EN EL AREA DE TRABAJO. (TUBERIAS, RIODELLA)	WEING	5%	05/11/2024	1
TRAZO DEL AREA. INICIO DE CORTE DE CONCRETOS.	WEING	8%	05/11/2024	2
CORTE Y DEMOLICION DE CONCRETOS, EXCAVACION DE TRINCHERAS	WEING	20%	06/11/2024	1
RETIRO DE RESIDUOS, RESULTADO DE LA EXCAVACION	WEING	25%	06/11/2024	1
CORTE DE CONCRETO AREA DE TUBERIAS	WEING	32%	10/11/2024	7
AFINADO DE ESPACIO PARA COLOCACION DE SIMBRA	WEING		10/11/2024	
COLOCACION DE SIMBRA	WEING	35%	10/11/2024	4
MEJORA DE LA INFRAESTRUTURA				
INSTALACION DE TUBERIAS Y CONECCION A TINAS				
SUMINISTRO Y TIRADO DE CONCRETO FREMESCLADO	WEING	47%	11/11/2024	2
DESMBRADO Y AFINADO DE ESPACIOS	WEING	60%	14/11/2024	4
APLICACION DE PINTURA APOXICA	WEING	68%	16/11/2024	2
PINTURA APLICACION				
INSTALACION DE BOMBA Y CONECCION DE LINEA ELECTRICA	WEING	80%	18/11/2024	2
LIMPIEZA Y REVISION FINAL PINTURA	WEING	90%	20/11/2024	
PRUEBAS				
Las fechas de arranque pueden tener variacion de acuerdo a el pago del anticipo				
Cual quier cambio en al proyecto favor de comunicar de inmediato. Se requiere de tener libre el area				
De acuerdo al cronograma de la fecha de pago del anticipo inicio el dia 22. termino del proyecto 23 DE NOVIEMBRE.				

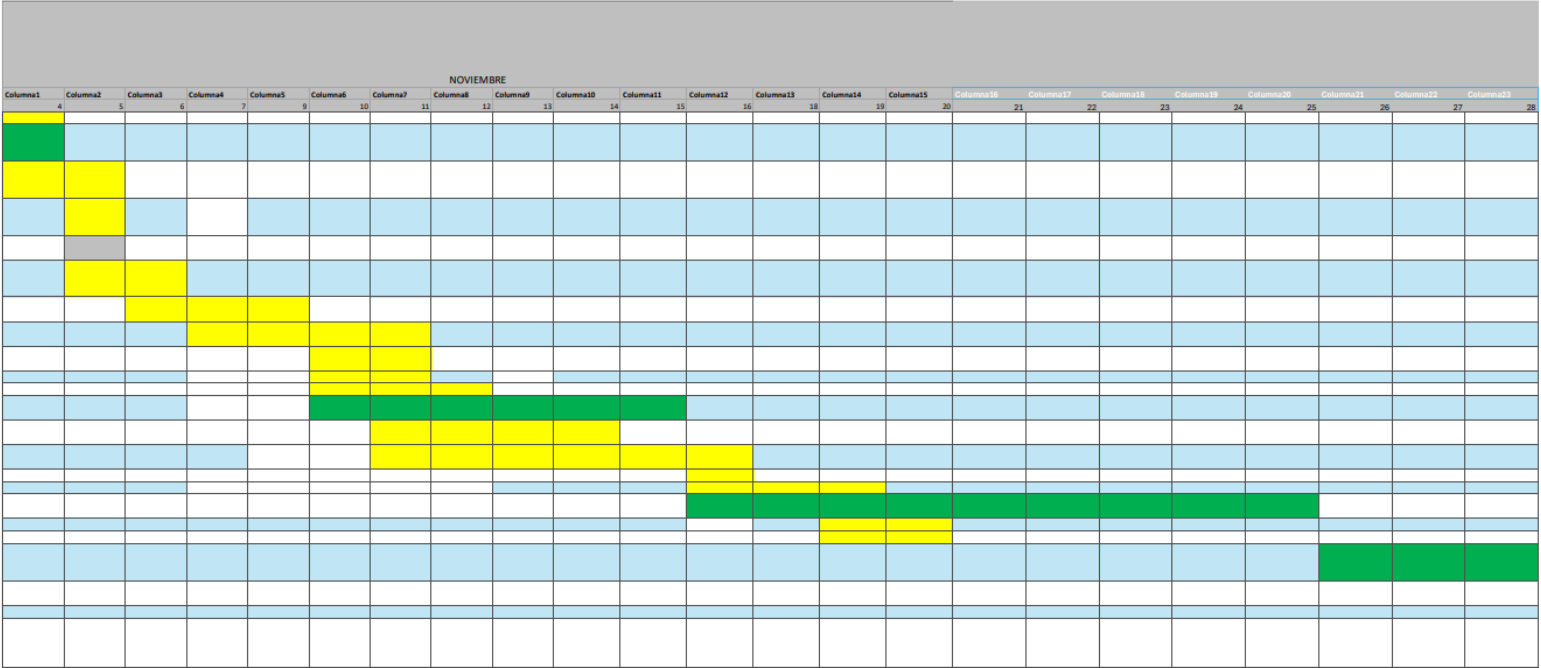


Tabla 5 Diagrama de Gantt del proyecto de mejora, Fuente: Elaboración propia

El proyecto requiere de obra civil, así como las mejoras necesarias para mejorar el flujo de agua de las barcas además de que se eliminarán condiciones de seguridad que había en el proceso anterior.

Etapa 7: Evaluación o Prueba posterior

Una vez instalado en proyecto de mejora se presentan los resultados de la medición del tiempo de calentamiento de barcas se tomaron tiempos del proceso de lavado dando resultados satisfactorios:

En el anexo B se muestra la base de datos obtenida en el mes de noviembre y diciembre como primeras muestras después de la implementación del proyecto de mejora.

Se representa en un gráfico de líneas la variable independiente de calentamiento de barcas en la siguiente Figura 28.

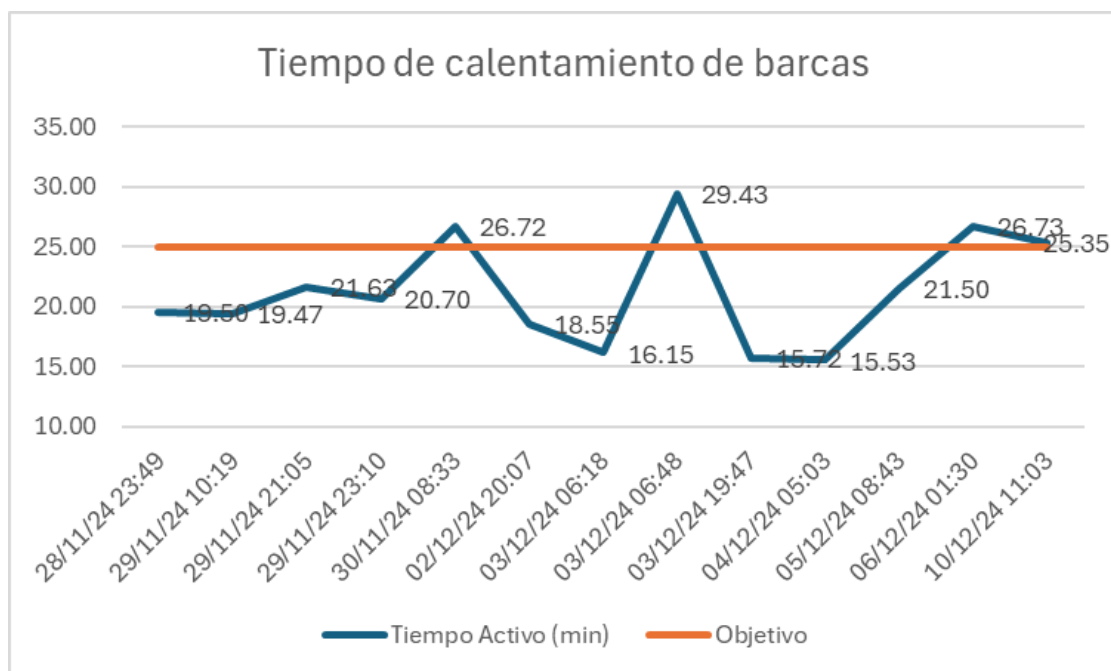


Figura 28 Gráfico de tiempo de calentamiento de barcas después del proyecto de mejora, Fuente: Elaboración propia

El tiempo de calentamiento se redujo a un promedio a la fecha de 50.62 minutos de baseline a 21.31 minutos, además se mejoró otra variable del proceso previa al calentamiento, el proceso manual de lavado se vio reducido puesto que al lograr drenar las 3 barcas de manera simultánea también el proceso de lavado inicia de la misma forma.

Prueba de hipótesis:

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Mediciondetiempo1	48.4915	13	7.89474	2.18961
	Mediciondetiempo2	21.3062	13	4.53663	1.25824

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Mediciondetiempo1 & Mediciondetiempo2	13	.124	.687

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas			99% de intervalo de confianza de la diferencia Inferior
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	
Par 1	Mediciondetiempo1 - Mediciondetiempo2	27.18538	8.60396	2.38631	19.89631

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas 99% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Mediciondetiempo1 - Mediciondetiempo2	34.47446	11.392	12	.000

Tabla 6 Prueba T de muestras relacionadas: Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un valor de 0 en el análisis por tanto la hipótesis es aceptada, se rechaza cuando el valor supera 0.05 en la celda Sig. (Bilateral)

Para demostrar la permanencia de resultados sobre la variable dependiente posterior en el año 2025 se realizó un estudio de capacidad que revele la confiabilidad del proyecto de mejora, se presenta en la Figura 29 dicho estudio, Se puede observar una media estadística de 28.32 minutos en todo el año 2025.

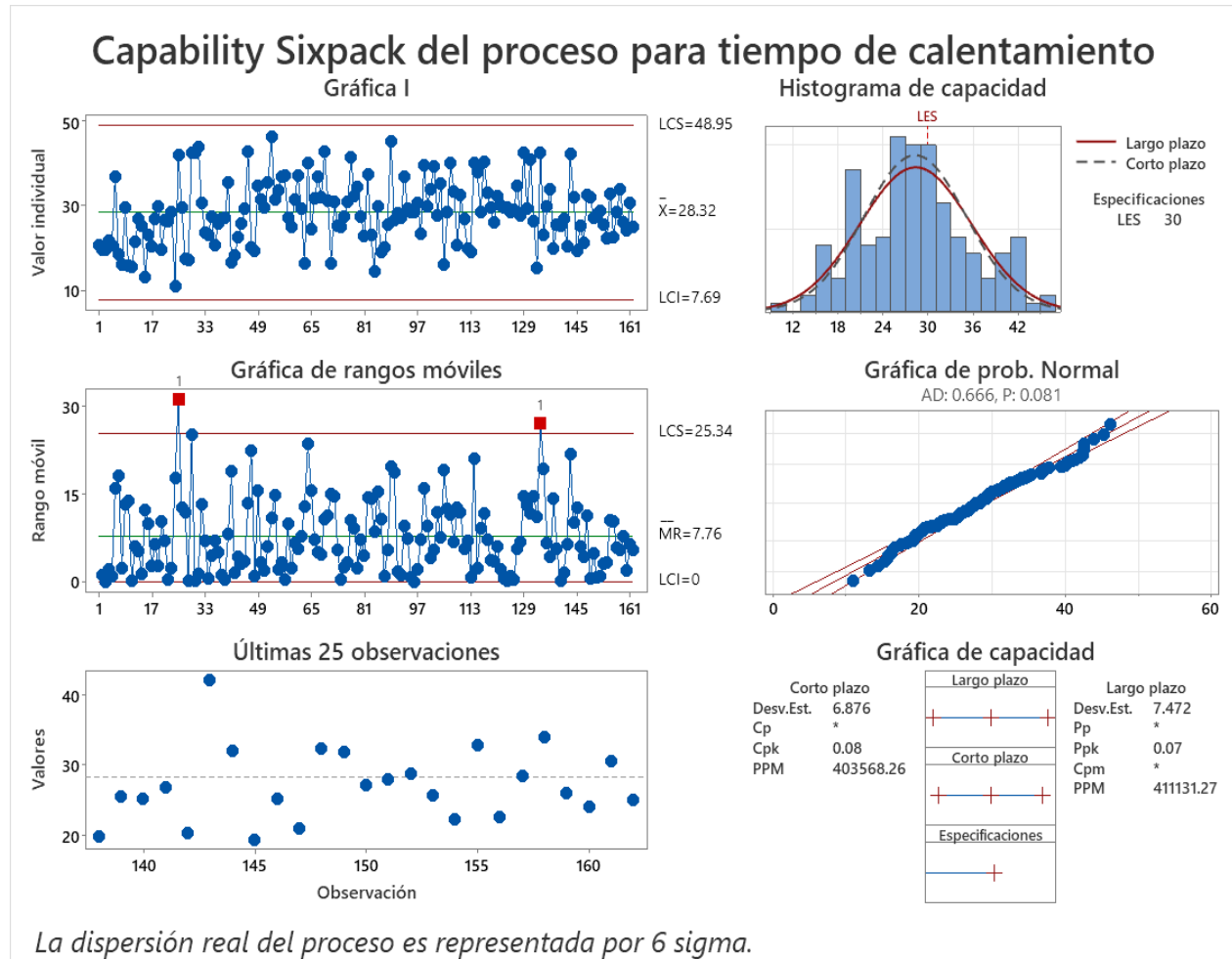


Figura 29 Estudio de capacidad de proceso de la variable dependiente. Fuente: Elaboración Propia

además, en la Figura 30 se confirma el nivel de confiabilidad del proyecto de mejora el cual se sitúa en un 95%.

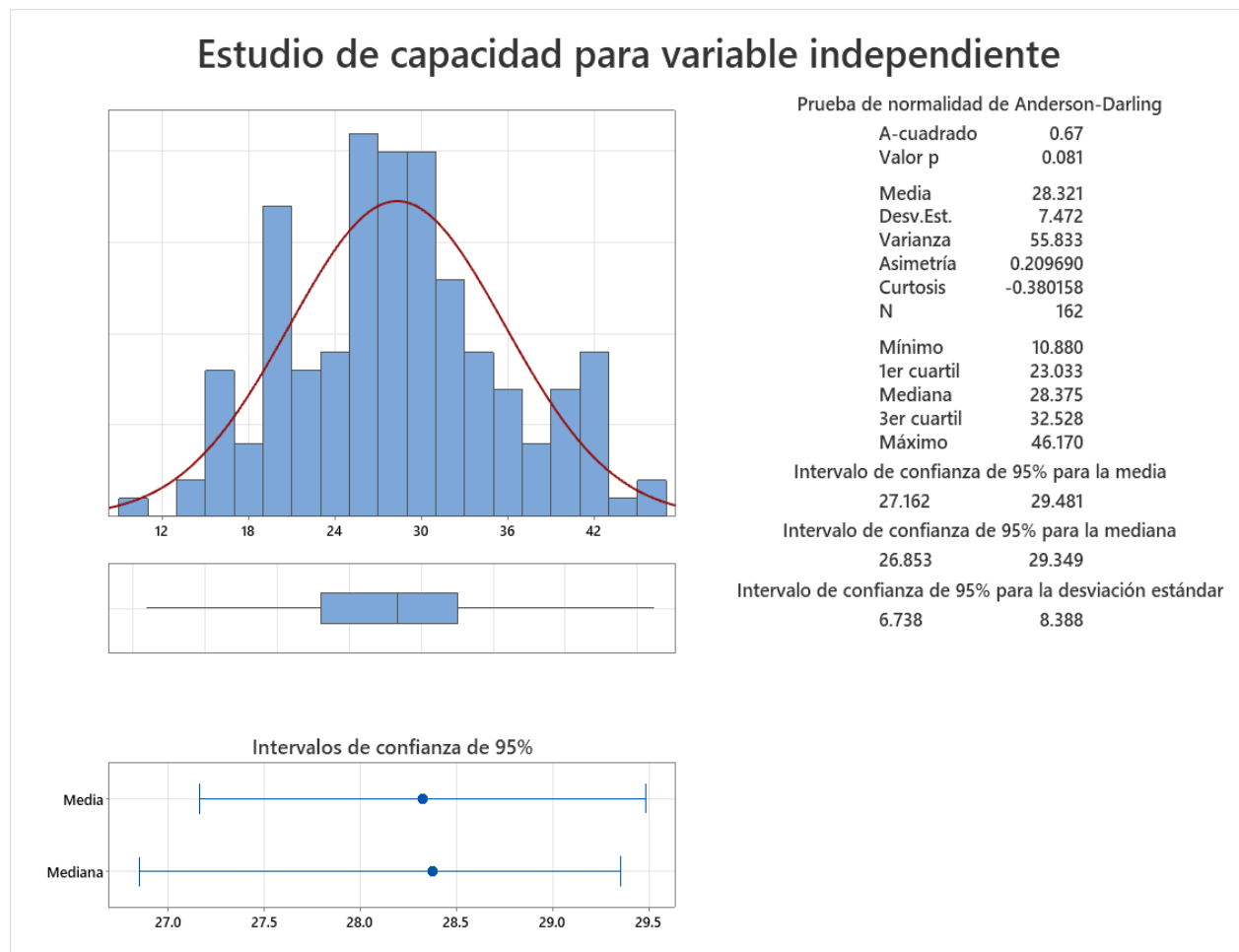


Figura 30 Intervalo de confianza de la prueba de capacidad. Fuente: Elaboración propia

Actualmente, la disponibilidad de la línea de acabado fue incrementada 30 minutos hasta 90 minutos en una jornada de 24 horas, dependiendo el número de lavados de agua de proceso, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el ahorro anual del proyecto considerando 3 lavados:

Concepto	Cantidad	Unidad
Tiempo efectivo de reducción	29.27	min
Yardas cada lavado de barcas	3,000	yardas
Producción diaria	9000	yardas
# Lavado	3	diario
Tiempo disponible despues de la mejora	87.81	minutos
Disponibilidad anual	24586.8	minutos
Costo actual por minuto / linea de acabado	3.54	USD
Ahorro anual	87037.272	USD

Tabla 7 Análisis costo-beneficio, Fuente: Elaboración propia

El proyecto tiene un retorno de inversión entre 4-5 meses, por lo que se considera altamente rentable.

A continuación, se muestra la Tabla 8 el resumen de las mejoras del proyecto, el antes y el después:

Tabla 8 Mejoras Post-Proyecto, Fuente: Elaboración propia

Núm.	Mejora	Antes	Después
1	Tecnología de calentamiento de agua	Vapor 2 Bar	Vapor 4bar + resistencias eléctricas
2	Infraestructura	6.86 litros por minuto	27.8 litros por minuto
Variables		Antes	Después
1	Tiempo de calentamiento de agua de proceso	50.52 min	21.31 min
2	Disponibilidad	-11.25%	-4.74%
3	Tiempo de lavado de barcas (Variable externa)	15min	5min

Conclusiones

El presente trabajo de tesis demuestra cómo la aplicación rigurosa de metodologías estructuradas de mejora continua puede transformar procesos industriales aparentemente estandarizados y optimizados, revelando oportunidades de mejora significativas incluso en operaciones que llevan años en funcionamiento.

La integración exitosa de la metodología Seis Sigma Esbelto con el enfoque DMAIC ha demostrado ser particularmente efectiva en el sector textil, un ámbito donde tradicionalmente se ha aplicado menos esta clase de metodologías en comparación con industrias como la automotriz. Este proyecto establece un precedente valioso que podría inspirar futuras iniciativas de mejora en sectores manufactureros similares que han sido históricamente menos explorados desde la perspectiva de la optimización sistemática.

Los resultados obtenidos van más allá de la simple reducción del tiempo de calentamiento, pues el proyecto generó un efecto multiplicador en múltiples dimensiones del proceso: se logró incrementar la disponibilidad de la línea en un 6.51%, y también se mejoró la sincronización del drenaje de las tres barcas de manera simultánea, se optimizó el flujo total del proceso y se estableció un marco para futuras mejoras en otras líneas de producción.

La validación estadística rigurosa mediante pruebas T de muestras relacionadas (con $p=0.000$) confirma que los resultados no son producto del azar, sino de intervenciones técnicas bien fundamentadas, reforzando así la credibilidad de los hallazgos y su potencial para ser replicados en contextos similares.

Desde una perspectiva económica, el proyecto presenta un atractivo retorno de inversión con un VAN de 24,042.2 y una TIR del 30.45%, demostrando que las inversiones en mejora continua no solo son técnicamente viables sino también económicamente justificables, incluso en escenarios de inversión moderada.

Finalmente, este trabajo subraya la importancia de combinar el conocimiento técnico especializado (como la mecánica de fluidos y las tecnologías de calentamiento) con metodologías de gestión de

procesos, creando sinergias que permiten resolver problemas complejos mediante soluciones integrales y sostenibles. La lección más valiosa que emerge de este proyecto es que en la industria manufacturera, incluso los procesos aparentemente simples como el calentamiento de agua pueden albergar oportunidades de mejora significativas cuando se abordan con metodologías estructuradas, análisis riguroso y enfoque multidisciplinario.

El proyecto de mejora implementado basado en la metodología Seis Sigma Esbelto y DMAIC logró cumplir satisfactoriamente tanto los objetivos planteados como las hipótesis establecidas. En relación con los objetivos específicos:

- Se logró medir con precisión los tiempos del proceso de calentamiento de agua mediante la herramienta VSM (Value Stream Mapping), identificando claramente las áreas críticas de mejora en el proceso.
- El análisis de los datos recopilados a través del diagrama de Ishikawa permitió determinar con éxito las causas raíz del problema, enfocando las acciones de mejora en los aspectos más relevantes.
- La implementación del proyecto de mejora, que consistió en optimizar la eficiencia de la caldera (pasando de 2 a 4 bar de presión de vapor) e integrar resistencias eléctricas de 85 KW por tina, garantizó la disminución significativa de la variable dependiente.
- Se verificó objetivamente la reducción del tiempo de calentamiento mediante el KPI de disponibilidad de la línea, demostrando resultados cuantificables.

En cuanto a las hipótesis:

H1 se cumplió con creces, ya que el tiempo de calentamiento se redujo en un 58% (de 50.62 minutos a 21.31 minutos), superando el objetivo inicial del 50%.

Este trabajo aporta valiosas contribuciones al campo del conocimiento en metodologías de mejora continua y gestión de procesos industriales:

- Demuestra de manera empírica y científica cómo la metodología Seis Sigma Esbelto puede ser aplicada con éxito en la industria textil, sector que históricamente ha recibido menos atención en estudios de este tipo comparado con la industria automotriz.
- Valida el marco teórico del DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) como esquema efectivo para optimizar operaciones, reducir tiempos de proceso y elevar la calidad en contextos industriales específicos.
- Proporciona un caso de estudio documentado que muestra cómo combinar herramientas analíticas (diagrama de Ishikawa, VSM, pruebas estadísticas) para abordar problemas complejos de manera estructurada y basada en datos.
- Contribuye al cuerpo de conocimiento sobre la aplicación de pruebas estadísticas rigurosas (como la prueba T de muestras relacionadas) para validar objetivamente los resultados de proyectos de mejora continua.
- Establece un precedente metodológico para futuras investigaciones en la intersección entre eficiencia energética y optimización de procesos en la industria manufacturera.

Los resultados de este proyecto tienen implicaciones prácticas significativas para la industria, especialmente en el sector textil y afines:

- La reducción del tiempo de calentamiento de agua de proceso no solo incrementó la disponibilidad de la línea en un 6.51%, sino que también mejoró otros aspectos del proceso, como la sincronización del drenaje de las tres barcas de manera simultánea, optimizando el flujo total del proceso.
- La solución implementada (combinación de optimización de caldera e integración de resistencias eléctricas) representa un modelo replicable para otras empresas textiles que enfrentan desafíos similares en sus procesos de acabado.
- Los resultados demuestran que la aplicación de tecnologías complementarias puede superar limitaciones técnicas inherentes a equipos existentes, sin requerir reemplazos completos que serían más costosos.

- El proyecto establece un retorno de inversión atractivo, con un horizonte de recuperación estimado en menos de 2 años, lo que hace viable su implementación desde una perspectiva económica.

- La metodología desarrollada no se limita al sector textil, sino que puede aplicarse en cualquier proceso industrial que involucre lavado químico con alta temperatura, ampliando su potencial de impacto.

En conclusión, este proyecto no solo logró sus objetivos específicos con resultados cuantificables y estadísticamente significativos, sino que también proporciona un marco metodológico robusto que puede ser adaptado a diversos contextos industriales, contribuyendo tanto al avance del conocimiento en gestión de procesos como a la mejora práctica de la eficiencia operativa en la industria manufacturera.

Dentro de la organización se tiene una línea adicional de acabado donde se puede implementar la misma metodología y por tanto generar los mismos ahorros, el proceso de lavado cuenta con 4 tinas de lavado con aproximadamente 2,500 litros de agua la ventaja que se tiene es que las tuberías de descarga están bien diseñadas y podemos descargar de manera simultánea con un flujo mayor a 150 L/min.

Al concentrar más agua dentro de las tinas la eficiencia del calentamiento disminuye por lo que la tecnología de calentamiento por vapor es ineficiente, destaco estas 2 ideas de implementación:

1. Integración de energía solar térmica: Basado en los estudios mencionados en la tesis (Jaramillo S, 2006; Ramires & Odobez, 2019), sería viable investigar la complementariedad entre el sistema de calentamiento mejorado y colectores solares de tubos de vacío, lo que podría reducir aún más el consumo energético y las emisiones de CO₂.

2. Sistemas híbridos de calentamiento: Desarrollar una solución que combine la caldera optimizada, las resistencias eléctricas y sistemas de recuperación de calor residual, creando un sistema híbrido que maximice la eficiencia energética del proceso de calentamiento, esta opción es una réplica del proyecto de mejora en la primera línea de acabado, pero buscando integrar la energía solar para mejor eficiencia del sistema.

Preguntas para Investigaciones Futuras

1. ¿Cómo impactaría la implementación de colectores solares de alta eficiencia en la reducción del consumo energético del proceso de calentamiento de agua, manteniendo los tiempos de producción requeridos? Esta investigación permitiría cuantificar el potencial de ahorro energético y el retorno de inversión de integrar energías renovables en el proceso.
2. ¿Cuál es el punto óptimo de equilibrio entre la presión de vapor de la caldera y la potencia de las resistencias eléctricas que maximiza la eficiencia energética sin comprometer los tiempos de calentamiento? Un estudio de optimización podría revelar configuraciones aún más eficientes que la implementada en el proyecto actual.

Referencias

- Alfra Lean Advisors. (2016). *Focus Improvement*. Obtenido de Focus Improvement: <https://alfraleanadvisors.com/wcm-focus-improvement/>
- AndesLean. (4 de 10 de 2023). *Value Stream Mapping (VSM) | Una Guía Práctica para Optimizar Procesos*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/value-stream-mapping-vsm-una-gu%C3%ADa-pr%C3%A1ctica-para-optimizar-procesos/>
- Arteaga, A. A. (13 de 11 de 2023). *LEAN CONSTRUCTION MEXICO* . Obtenido de DMAIC – Las fases dentro del Seis sigma esbelto : <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/dmaic-las-fases-dentro-del-lean-six-sigma>
- Bravo Salinas, W. J. (2023). *Optimización del Proceso de la Gestión del Mantenimiento Industrial con la Metodología Word Class Manufacturing “WCM” de las líneas de envasado en una empresa de Morteros situada en el cantón Duran*. Universidad estatal de milagro: Tesis de MAGÍSTER EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES. Obtenido de <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/7036/1/BRAVO%20SALINAS%20WALTER.pdf>
- Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía. (2009). *Eficiencia en carlderas y combustión*. Secretaría de energía, Gobierno de México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/93854/Calderas_02.pdf
- Fernandez de la Cigoña, J. R. (25 de 08 de 2023). *SAGE*. Obtenido de Tasa interna de retorno (TIR): ¿Qué es y cómo se calcula?: <https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/>
- García Cantó, M., & Amador Gandia, A. (2019). CÓMO APLICAR “VALUE STREAM MAPPING” (VSM). *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 8(2), 68-83. Obtenido de <file:///C:/Users/German/Downloads/Dialnet-ComoAplicarValueStreamMappingVSM-6979235.pdf>
- Gasca, C. E. (2013). Transición energtica, energias renovables y energía solar de potencia. *Revista mexicana de física*, 59(2), 75-84. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/570/57030971010.pdf>
- Gerges González, M. N. (22 de abril de 2023). *izertis*. Obtenido de <https://www.izertis.com/es/-/post/metodo-lean-six-sigma-mejora-procesos-de-tu-empresa>
- González Santander, J. (2014). *Fundamentos de mecánica de fluidos*. Club universitario. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/ucuaauhtemoc/43692?page=17>

- Guamán, J. G., & Ríos, A. (2016). Evaluación del Impacto Económico en Diferentes Escenarios de Implementación de Tecnologías Eficientes de Calentamiento de Agua en el Ecuador. *Revista Técnica Energía*(12), 270-283.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación, 6ta edición*. México: Mc GrawHill.
- Hernandez, J. (28 de ABRIL de 2022). *SINGLE-MINUTE EXCHANGE OF DIE ¿QUÉ ES EL SMED?* Obtenido de SGS PRODUCTIVITY: https://leansisproductividad.com/herramientas_smed_mejora_continua
- Ibarra Bajaña, J. C., & Andrade Gomez, W. F. (2022). *Propuesta de mejora del rendimiento Set-up de la linea de produccion de flejes para una empresa de soluciones de acero de construccion*. Universidad Politecnica Salesiana de Ecuador: Tesis de Maestria .
- Jaramillo S, A. F. (2006). Instalación solar para calentamiento de agua de proceso aplicado a una industria de curtiembre, empleando materiales y topología de alta eficiencia desarrollados en Colombia. *Revista energía y computación*, 14(2), 41-48. Obtenido de https://dlwqtxts1xzle7.cloudfront.net/73031184/V.14No.2-p.41-48-libre.pdf?1634617207=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInstalacion_solar_para_calentamiento_de.pdf&Expires=1716874253&Signature=P3qYBwhwgiPxAYY3Kp-SK~P73cu6sbBPtKmpRqPD8kCxqi
- Jimenez Carballo, C. A. (2017). *Mecanica de fluidos*. Costa Rica: Instituto tecnologico de costa rica .
- Jiménez Carballo, C. A. (2108). *Mecánica de fluidos: Dinámica de fluidos*. Instituto tecnológico de costa rica. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10195/Dinamica%20de%20fluidos%20ideales.pdf?sequence=1>
- Lizarraga, S. (28 de enero de 2020). *Linkedln*. Obtenido de LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-se-puede-beneficiar-un-programa-de-wcm-con-sergio-lizarraga/>
- Marín, R. (2008). Materiales y estructuras cerámicas para el diseño de quemadores de gas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. Obtenido de [https://boletines.secv.es/upload/20081023132155.47\[5\]298-304.pdf](https://boletines.secv.es/upload/20081023132155.47[5]298-304.pdf)
- Martín Domingo, A. (2011). *Apuntes de Mecánica de Fluidos*. Creative commons. Obtenido de <https://oa.upm.es/6531/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>

- Martinez, E. (07 de Noviembre de 2023). *Industria automotriz acapara 88% de espacios industriales en SLP*. Obtenido de Real State, Market & Lifestyle: <https://realestatemarket.com.mx/noticias/mercado-inmobiliario/industriales/43509-industria-automotriz-acapara-88-de-espacios-industriales-en-slp>
- Medina, J. (11 de 08 de 2023). *Toyota material handling*. Obtenido de ¿Qué es Value Stream Mapping (VSM) y para qué sirve?: <https://blog.toyota-forklifts.es/value-stream-mapping-vsm-mejorar-procesos>
- Minitap. (2024). *Soporte de Minitap*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-sixpack/normal-capability-sixpack/before-you-start/example/>
- Monge Redondo, M. A. (09 de 10 de 2017). *iAgua*. Obtenido de Fundamentos básicos de hidráulica: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/fundamentos-basicos-hidraulica-i>
- Monge Redondo, M. A. (2017, NOV 7). *Universidad internacional de riego*. Retrieved from Sobre caudal y la presión del agua: <https://www.universidadderiego.com/sobre-el-caudal-y-la-presion-del-agua/>
- Nandwani, S. S. (2005). *Energía solar. Conceptos básicos y su utilización*. Conceptos básicos y su utilización. Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica). Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57174054/Energia_Solar_Conceptos_Basicos-libre.pdf?1534103210=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DENERGIA_SOLAR_CONCEPTOS_BASICOS_Y_SU_UTI.pdf&Expires=1716873506&Signature=X6Ivm3ZzGGBTzOoFBbuCiheJw20T-q
- Navarro Albert, E., Gisbert Soler, V., & Pérez Molina, A. I. (2017). *METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN DE SIX SIGMA. 3C EMPRESA*. Obtenido de [file:///C:/Users/German/Downloads/Dialnet-MetodologiaImplementacionDeSixSigma-6300067%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/German/Downloads/Dialnet-MetodologiaImplementacionDeSixSigma-6300067%20(1).pdf)
- Proaño Villavicencio, D. X., Gisbert Soler, V., & Pérez Bernabeu, E. (2017). *METODOLOGÍA PARA ELABORAR UN. 3m empresa*. Obtenido de <file:///C:/Users/German/Downloads/Dialnet-MetodologiaParaElaborarUnPlanDeMejoraContinua-6300064.pdf>
- PROGRESSA LEAN. (14 de 10 de 2014). *5W+2H Técnica de análisis de problemas*. Obtenido de PROGRESSA LEAN: <https://www.progressalean.com/5w2h-tecnica-de-analisis-de-problemas/>

- Quirola Guevara, D. A. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de recuperación de energía a partir de purgas laterales, condensados y vapor flash para el calentamiento de agua en procesos*. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito (Tesis de Ingeniería mecánica). Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13669/3/UPS-KT01359.pdf>
- Ramires, A. C., & Odobez, N. (2019). Aplicación de la energía solar térmica para la reducción del consumo eléctrico en un sistema de calentamiento de agua sanitaria industrial industrial. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 284-290.
- Rosales, J. (8 de Septiembre de 2023). *Fracctal*. Obtenido de <https://www.fracttal.com/es/mantenipedia/que-es-el-mantenimiento-de-clase-mundial>
- Salesforce Latam. (09 de 02 de 2022). *Diagrama de Ishikawa: qué es y cómo aplicarlo*. Obtenido de Salesforce Latam Blog: <https://www.salesforce.com/mx/blog/diagrama-de-ishikawa/>
- Santiago, H. (15 de Septiembre de 2020). *Linkedin*. Obtenido de World Class Manufacturing (WCM): <https://www.linkedin.com/pulse/world-class-manufacturing-wcm-hector-santiago/>
- Sierra, L. (29 de 07 de 2024). *Tickelia*. Obtenido de ¿Qué es el Valor Actual Neto (VAN) y cómo se debe utilizar?: <https://tickelia.com/blog/gestion-empresarial/van-como-utilizarlo/>
- Socconini, L. (28 de 08 de 2023). *LSSI, Seis sigma esbelto institute*. Obtenido de Explicación de la metodología DMAIC de Seis sigma esbelto : <https://leansixsigmainstitute.org/es/explicacion-de-la-metodologia-dmaic-de-lean-six-sigma/>
- Techno Injection & Tools. (2019). *Techno Injection & Tools*. Obtenido de Resistencias industriales para calentamiento: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/FMfcgzQVwnRrcRKtpHjcnnDgZgjcTNWT?projector=1&messagePartId=0.1>
- Tejeda, A. S. (2011). MEJORAS DE MANUFACTURA ESBELTA EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS. *CIENCIA Y SOCIEDAD*, XXXVI(2). Obtenido de <https://intranetrepositorio.intec.edu.do/server/api/core/bitstreams/214c79b6-6d68-40a6-b00c-219506366b58/content>
- Uceda Martínez, J. (2013). *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Obtenido de <https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom->
- Urbina Fuentes, J. R. (2010). *Estudio Comparativo Técnico-Económico de Sistemas de Calentamiento de Fluidos Basados en Resistencias Eléctricas, Inducción Magnética y*

Calderas Diésel. Tesis de (Maestría en ciencias de la ingeniería), Universidad de Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/101169/cf-urbina_jf.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Villavicencio, D. X., Gisbert Soler, V., & Bernabeu, E. P. (22 de 12 de 2017). *3C EMPRESA* . Obtenido de Metodologia para elaborar un plan de mejora continua: https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/01/art_6.pdf

Anexo A. Registro del tiempo de calentamiento enero-marzo

Máquina	Solicitante	Nómina	Falla	Categoría	Descripción	Fecha de Creación	Usuario cierre	Comentarios	Fecha de cierre	Tiempo Activo (min)
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de barcas y se pasa 1 bota de palpado	02/01/24 17:41	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	02/01/24 18:40	58.82
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	03/01/24 02:57	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	03/01/24 03:48	50.65
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	03/01/24 12:46	José Saul López	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS Y SE DA PLATICA DE SEGURIDAD	03/01/24 13:45	58.80
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de barcas por vapor	03/01/24 23:05	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	03/01/24 23:52	47.05
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS Y SE PASA BOTA DE PALPADO	04/01/24 09:41	Mireya Elizabeth Sánchez González	termino de calentamiento de barcas	04/01/24 10:22	40.80
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de barcas por vapor	04/01/24 20:48	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	04/01/24 21:03	45.30
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	05/01/24 05:02	José Antonio	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	05/01/24 05:49	46.52

							Espinoza Chávez			
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	05/01/24 19:13	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	05/01/24 20:01	48.03
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	08/01/24 17:27	PCMS	Cierre automático por actividad en la rama	08/01/24 17:54	36.40
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	09/01/24 02:04	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	09/01/24 02:57	52.65
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	09/01/24 09:24	PCMS	Cierre automático por actividad en la rama	09/01/24 10:03	39.07
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	09/01/24 18:37	PCMS	Cierre automático por actividad en la rama	09/01/24 19:39	62.07
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	10/01/24 02:19	PCMS	Cierre automático por actividad en la rama	10/01/24 03:03	44.23
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	10/01/24 11:39	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	ARRANQUE A TEMPERATURA ESTÁNDAR	10/01/24 12:25	46.48
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	11/01/24 16:38	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	ARRANQUE CON TELA	11/01/24 17:04	46.55

R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	12/01/24 07:08	Jorge Alberto Ramos Rosas	Cierre automático por actividad en la rama	12/01/24 07:55	47.13
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	12/01/24 18:48	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	12/01/24 19:31	42.88
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	29/01/24 22:31	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	29/01/24 23:01	30.78
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	01/02/24 22:06	Jorge Alberto Ramos Rosas	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	01/02/24 22:59	53.55
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	02/02/24 06:17	PCMS	Cierre automático por actividad en la rama	02/02/24 07:18	60.77
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	03/02/24 09:08	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	03/02/24 09:53	44.82
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	03/02/24 17:25	Jorge Alberto Ramos Rosas	LA MÁQUINA SE RESTABLEC	03/02/24 18:17	52.03
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	07/02/24 06:56	José Antonio Espinoza Chávez	termino de calentamiento de barcas	07/02/24 07:43	46.97

R01	Gisela Bravo	mop955	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	08/02/24 13:42	Gisela Bravo	la máquina se restablece	08/02/24 14:23	40.95
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	09/02/24 00:51	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	Arranque de máquina a temperatura estándar	09/02/24 01:55	63.78
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	10/02/24 06:20	Mireya Elizabeth Sánchez González	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	10/02/24 06:55	35.12
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	10/02/24 13:49	Gisela Bravo	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	10/02/24 14:41	52.45
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	12/02/24 17:26	José Luis Mendoza Cruz	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	12/02/24 18:04	38.47
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	13/02/24 01:14	Jorge Alberto Ramos Rosas	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	13/02/24 02:13	58.63
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	14/02/24 05:07	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	14/02/24 05:56	49.53
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	14/02/24 12:47	Felipe De Blas Martínez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	14/02/24 13:56	68.67
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	14/02/24 22:51	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	14/02/24 23:42	50.47

R01	Gisela Bravo	mop955	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	15/02/24 06:42	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	15/02/24 07:40	58.35
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	15/02/24 16:26	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO	15/02/24 17:15	48.62
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	16/02/24 01:13	José Antonio Espinoza Chávez	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	16/02/24 02:01	48.25
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	16/02/24 09:42	José Saul López López	Termino de calentamiento de agua en tren de lavado	16/02/24 10:58	75.98
R01	Gisela Bravo	mop955	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	16/02/24 19:49	Jorge Alberto Ramos Rosas	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	16/02/24 21:29	99.25
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	INICIO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	20/02/24 06:00	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	20/02/24 06:50	49.93
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	21/02/24 03:13	José Luis Mendoza Cruz	termino de calentamiento de barcas	21/02/24 04:09	55.98
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	21/02/24 12:34	José Antonio Espinoza Chávez	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	21/02/24 13:37	62.57
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	21/02/24 21:41	Mireya Elizabeth	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	21/02/24 22:32	50.37

							Sánchez González			
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	22/02/24 07:17	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	22/02/24 08:12	55.30
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de barcas por vapor	22/02/24 15:39	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	22/02/24 16:28	48.78
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	23/02/24 00:13	José Saul López	Terminó de calentamiento de barcas	23/02/24 01:06	52.77
R01	José Luis Mendoza	nop600	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	26/02/24 17:14	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO	26/02/24 18:06	52.38
R01	Gustavo Martínez	mop572	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	27/02/24 02:39	Gustavo Martínez Alonso	la máquina se restablece	27/02/24 03:35	56.00
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	27/02/24 12:16	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	27/02/24 13:09	52.40
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	28/02/24 00:43	José Antonio Espinoza Chávez	ARRANQUE A TEMPERATURA ESTÁNDAR	28/02/24 02:03	79.57
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	28/02/24 08:57	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO	28/02/24 09:50	52.88

R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	28/02/24 18:49	José Antonio Espinoza Chávez	termino de calentamiento de barcas	28/02/24 19:42	52.95
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	29/02/24 02:56	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	29/02/24 03:46	50.08
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	01/03/24 14:52	José Luis Mendoza Cruz	termino de calentamiento de barcas	01/03/24 15:52	59.58
R01	Gisela Bravo	mop955	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	01/03/24 22:36	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	01/03/24 23:24	47.57
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	05/03/24 00:58	José Luis Mendoza Cruz	termino de calentamiento de barcas	05/03/24 01:56	57.92
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	06/03/24 02:04	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO	06/03/24 02:59	54.43
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	06/03/24 10:10	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	06/03/24 10:53	43.00
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	06/03/24 17:33	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	06/03/24 18:29	55.78
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	07/03/24 03:37	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE PARO LA MÁQUINA SE RESTABLECE	07/03/24 04:29	52.58

R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	07/03/24 11:16	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	A MÁQUINA SE RESTABLECE	07/03/24 12:20	63.65
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	07/03/24 19:37	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	07/03/24 20:30	52.97
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de barcas	08/03/24 02:45	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	08/03/24 03:39	53.95
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	08/03/24 11:09	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	08/03/24 12:14	65.65
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	12/03/24 16:21	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO	12/03/24 17:28	67.10
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	13/03/24 21:25	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	13/03/24 22:18	53.15
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	14/03/24 07:35	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE PARO	14/03/24 08:44	69.22
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS POR VAPOR	15/03/24 00:42	José Antonio Espinoza Chávez	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	15/03/24 01:27	45.05

R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	15/03/24 10:55	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	15/03/24 11:48	53.02
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	18/03/24 15:28	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	18/03/24 16:29	60.97
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	19/03/24 15:51	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	19/03/24 16:41	49.98
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	20/03/24 00:55	José Luis Mendoza Cruz	termino de calentamiento de barcas	20/03/24 01:55	59.78
R01	José Antonio Espinoza	mop331	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de barcas por vapor	20/03/24 10:25	José Antonio Espinoza Chávez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	20/03/24 11:24	59.48
R01	Felipe De Blas	mop889	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	20/03/24 22:19	Felipe De Blas Martínez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	20/03/24 23:13	53.57
R01	Mireya Elizabeth Sánchez	nop176	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	21/03/24 05:55	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	21/03/24 06:48	52.50
R01	José Saul Lopez	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	Calentamiento de agua en tren de lavado	22/03/24 00:26	Mireya Elizabeth Sánchez González	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	22/03/24 01:20	54.13
R01	José Saul Lopez	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	25/03/24 14:28	José Saul Lopez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	25/03/24 15:26	58.08

R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	25/03/24 22:07	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	25/03/24 22:54	47.17
R01	José Luis Mendoza	nop600	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	26/03/24 07:36	José Saul Lopez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS SE PROCESA VAPORIZADO	26/03/24 08:36	60.63
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	26/03/24 20:58	Jorge Alberto Ramos Rosas	ARRANQUE DE MÁQUINA A TEMPERATURA ESTÁNDAR	26/03/24 21:53	54.77
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	27/03/24 10:00	José Saul López Lopez	TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	27/03/24 11:04	63.85
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	28/03/24 00:44	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	28/03/24 01:37	52.73
R01	José Saul López	mop617	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	28/03/24 12:42	José Luis Mendoza Cruz	termino de calentamiento de barcas	28/03/24 13:35	52.90
R01	Jesús Guadalupe Lara	mop758	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	28/03/24 22:46	Jesús Guadalupe Lara Zacarias	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	28/03/24 23:33	46.63
R01	Jorge Alberto Ramos	mop468	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	30/03/24 14:39	Jorge Alberto Ramos Rosas	LA MÁQUINA SE RESTABLECE	30/03/24 16:08	88.97

Anexo B. Registro del tiempo de calentamiento después de implementado el proyecto de mejora.

Máquina	Solicitante	Nómina	Falla	Categoría	Descripción	Fecha de Creación	Usuario cierre	Causa	Comentarios	Fecha de cierre	Tiempo Activo (min)
R01	MAURICIO ANDRADE	nop959	Calentamiento de barcas	N/A	SE INICIA CON CALENTAMIENTO	28/11/24 23:29	JAVIER ARANDA AGUILAR		Se termina con calentamiento de barcas	28/11/24 23:49	19.50
R01	DIANA VANESSA SEGURA	nop974	Calentamiento de barcas	N/A	llenado y calentamiento de barcas	29/11/24 10:00	DIANA VANESSA SEGURA HUERTA		se calientan barcas	29/11/24 10:19	19.47
R01	MAURICIO ANDRADE	nop959	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	29/11/24 20:43	MAURICIO ANDRADE GOMEZ		TERMINO DE LAPSO DE PARO	29/11/24 21:05	21.63
R01	MAURICIO ANDRADE	nop959	Calentamiento de barcas	N/A	SE INICIA CON CALENTAMIENTO DE BARCA 2	29/11/24 22:50	JAVIER ARANDA AGUILAR		Se realiza arranque de rama	29/11/24 23:10	20.70
R01	Felipe De Blas	mop889	Calentamiento de barcas	N/A	SE COMIENZA CALENTAMIENTO DE BARCAS	30/11/24 07:57	Felipe De Blas Martínez		TERMINO DE CALENTAMIENTO DE BARCAS	30/11/24 08:33	26.72
R01	Felipe De Blas	mop889	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE AGUA EN TREN DE LABADO	02/12/24 19:48	Felipe De Blas Martínez		SE TERMINA CALENTAMIENTO DE BARCAS	02/12/24 20:07	18.55
R01	DANIELA CITLALI ENHORABUENA	nop956	Calentamiento de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	03/12/24 06:02	Felipe De Blas Martínez		TERMINO DE LAVADO DE BARCAS	03/12/24 06:18	16.15
R01	Felipe De Blas	mop889	Calentamiento de barcas	N/A	CALENTAMIENTO DE BARCAS	03/12/24 06:18	DANIELA CITLALI		termino de calentamiento de barcas	03/12/24 06:48	29.43

							ENHORABUE NA LOPEZ			
R01	Felipe De Blas	mop88 9	Calentamien to de barcas	N/A	CALENTAMIEN TO DE AGUA EN TREN. DE LABADO	03/12/2 4 19:31	Felipe De Blas Martínez	la máquina se restablece	03/12/2 4 19:47	15.7 2
R01	Jorge Alberto Ramos	mop46 8	Calentamien to de barcas	N/A	CALENTAMIEN TO DE AGUA EN TREN DE LAVADO	04/12/2 4 04:47	DANIELA CITLALI ENHORABUE NA LOPEZ	la máquina se restablece	04/12/2 4 05:03	15.5 3
R01	AXEL RAFAEL OLIVEROS	no102 8	Calentamien to de barcas	N/A	calentamiento de barcas	05/12/2 4 08:22	AXEL RAFAEL OLIVEROS TORRES	termina	05/12/2 4 08:43	21.5 0
R01	DANIELA CITLALI ENHORABUE NA	nop95 6	Calentamien to de barcas	N/A	calentamiento de agua en tren de lavado	06/12/2 4 01:03	DANIELA CITLALI ENHORABUE NA LOPEZ	termino de calentamiento de barcas	06/12/2 4 01:30	26.7 3
R01	DANIELA CITLALI ENHORABUE NA	nop95 6	Calentamien to de barcas	N/A	SE REALIZA CALENTAMIEN TO DE BARCAS	10/12/2 4 10:38	DANIELA CITLALI ENHORABUE NA LOPEZ	SE TERMINA CALENTAMIEN TO	10/12/2 4 11:03	25.3 5