TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

SISTEMA DE CONTROL TÉRMICO EN CARRO TANQUE PARA EXTRACCIÓN DE TUBOS

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:
RICARDO FLORES VAZQUEZ

NOMBRE DEL ASESOR:
ING. HUMBERTO CORTÉS VÁZQUEZ

APIZACO, TLAX., ABRIL 2026

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Subdirección de Planeación

Apizaco, Tlax. 03/marzo/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral:

Nombre del Egresado:	RICARDO FLORES VÁZQUEZ
Carrera:	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. De control:	21370491
Nombre del proyecto:	"SISTEMA DE CONTROL TÉRMICO EN CARRO TANQUE PARA EXTRACCIÓN DE TUBOS"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
EXCELENCIA EN EDUCACION TECNOLOGICA ®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MTRO. ARMANDO BARRAZA HINIESTA
JEFE DE DEPTO. INGENIERÍA INDUSTRIAL

ING. HUMBERTO CORTÉS VÁZQUEZ
ASESOR INTERNO

c.c.p._Div. Est. Prof. (interesado)
c.c.p._Archivo



2026 año de Margarita Maza





100% PLÁSTICO

Educación
Secretaría de Educación Pública

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 20/Marzo/2026

RICARDO FLORES VAZQUEZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CON NÚMERO DE CONTROL 21370491.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"SISTEMA DE CONTROL TÉRMICO EN CARRO TANQUE PARA EXTRACCIÓN DE TUBOS",** conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

EDUCACIÓN | TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
CYAL/gvm*

2026 año de Margarita Maza

100% LIBRE DE PLÁSTICO

Agradecimientos
Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido y me han acompañado a lo largo de mi formación universitaria y durante la elaboración de este proyecto, el cual representa la culminación de una etapa fundamental en mi vida académica. Agradezco al Instituto Tecnológico Nacional de México, Campus Apizaco, por brindarme la oportunidad de ser parte de esta institución. Extiendo mi agradecimiento al Departamento de Ingeniería Industrial y a cada uno de sus docentes, quienes contribuyeron de manera significativa a mi desarrollo profesional, proporcionándome las competencias necesarias para integrarme al ámbito laboral. Las experiencias vividas desvelos, estrés, preocupaciones y esfuerzo constante representan la perseverancia y disciplina que me permitieron alcanzar mis objetivos.

De igual manera, expreso mi agradecimiento a la empresa Greenbrier Tlaxcala por abrirme las puertas y permitirme adquirir experiencia laboral. En especial, al Departamento de Mejora Continua, donde tuve la oportunidad de convivir con ingenieros que compartieron sus conocimientos y dedicaron tiempo para enseñarme, fortaleciendo así mis habilidades y formación profesional.

A mis asesores, el Ing. Humberto Cortés Vázquez, por su orientación, apoyo y dedicación durante la elaboración de este proyecto, y el Ing. Andrés López Forjas, por brindarme la oportunidad de integrarme al equipo de Mejora Continua y confiar en mis capacidades desde el inicio. Su acompañamiento fue clave para el desarrollo de este trabajo.

Mi más profundo agradecimiento es para mi familia: mi padre Ricardo Flores Ramírez, mi madre Juana Vázquez Vázquez y mi hermana Mari José Flores Vázquez. Gracias por la confianza que siempre tuvieron en mí, por hacer todo lo posible para que mi vida universitaria fuera una realidad y por brindarme su apoyo incondicional. Este logro no es solo mío, sino también de ustedes, que han sido impulso, fortaleza y motivación en cada etapa de mi vida. Agradezco profundamente todos los sacrificios que hicieron para que yo pudiera seguir avanzando, su tiempo, su esfuerzo, sus palabras de ánimo en los momentos difíciles y también sus abrazos silenciosos cuando no sabían cómo ayudar, pero estaba ahí, gracias por ser quienes creyeron en mi incluso cuando yo dudaba, por recordarme que era capaz, por cada consejo antes de una presentación, por las madrugadas en las que me esperaban despiertos y por cada en la que me alentaron a no rendirme.

Ustedes han sido mi ejemplo más grande, quienes me enseñaron que los sueños se construyen con trabajo, constancia y humildad, a mi mamá por su amor infinito y su manera de cuidar mis pasos sin detener mi crecimiento, a mi papá por enseñarme que el esfuerzo siempre vale la pena y a mi hermana por ser apoyo, compañía y alegría en esta etapa. Todo lo que he logrado lleva un pedazo de ellos, porque este camino también lo hemos recorrido juntos.

Asimismo, agradezco a mis familiares: mis abuelitas, tíos, tías, primos y primas, por su apoyo constante y por estar siempre presentes con consejos y palabras de ánimo en lo académico, personal y laboral. Gracias por creer en mí y por confiar en mis capacidades. Este logro también les pertenece, pues su acompañamiento ha sido parte esencial de mi formación y crecimiento.

Quiero expresar un agradecimiento especial a mi primo Brayan Yahir Hernández Vázquez, una persona muy importante en mi vida académica y personal. Agradezco profundamente su apoyo, sus palabras de aliento y la compañía que siempre me brindó. Lo recuerdo y lo recordaré siempre con mucho cariño. Que descanse en paz.

También quiero agradecer a mis compañeros y amigos de la carrera, con quienes compartí no solo aulas, proyectos y exposiciones, sino que también risas, apoyo mutuo y momentos que marcaron esta etapa de mi vida. Gracias por acompañarme en los retos que precian imposibles, por aquellas platicas interminables que terminan resolviendo problemas académicos y a veces de la vida, por celebrar cada logro como si fuera propio y por convertir el cansancio en motivación. Cada uno de ustedes les agradezco su amistad y compañerismo pues sin su compañía el camino hubiera sido más pesado y significativamente menos memorable.

Cierro este apartado con una frase que ha guiado mi camino durante estos años:

“La constancia siempre te llevará a grandes cosas ya que la constancia y la perseverancia, tarde o temprano, darán sus frutos”.

INDICE

Agradecimientos 2
Resumen 4
Generalidades del proyecto 11
Introducción 14
Descripción de la empresa 15
Política de calidad 15
Prioridades de la empresa 15
Misión y visión de Greenbrier 15
Descripción del puesto o área del trabajo el estudiante 16
Problemas a resolver, priorizándolos 18
Objetivo general 20
Objetivos específicos 20
Justificación 21
Marco Teórico (fundamentos teóricos) 22
Propiedades del Material y Relevancia Técnica 22
GPa (Gigapascal). 23
MPa (Megapascal). 23
..... 23
W/m·K (Watts por metro-kelvin). 23
Tratamiento Térmico Posterior a la Soldadura (PHT) 24
Pirómetros 25
Transferencia de Calor y Enfriamiento Industrial. 26
Conducción. 27

..... 27
Convección. 28
Radiación. 29
Pruebas Hidrostáticas y Normatividad Aplicable 30
Manómetro. 30
Registrador gráfico. 31
Estación de trabajo. 31
Herramientas de Análisis de Procesos 32
..... 32
Calor específico 32
- Diagrama de flujo 33
- VSM (Value Stream Mapping) 33
- Layout 34
- Toma de tiempos (o Estudio de tiempos) 35
- Diagrama de espagueti 35

Análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas 36
Modelado en SOLIDWORKS. 37
Desarrollo 41
Definir alcance y objetivo 41
Elaboración del layout del área de trabajo en la prueba hidrostática 41
Levantamiento de información en campo. 41
Identificación de elementos críticos 42
Representación gráfica mediante software CAD 42

Elaboración del diagrama de flujo 42
Diagrama de flujo del proceso completo 42
Diagrama de flujo específico de la operación Equipamiento y Enfriamiento. 43
Análisis del Dispositivo (Material y Dibujo) 43
Elaboración del Diagrama VSM (Value Stream Mapping) 44
Toma de Tiempos del Proceso 45
Monitoreo Térmico del Tanque 47
Elaboración de análisis FODA 48
Elaboración de Propuestas de Mejora 49
Implementación Preliminar del Sistema de Control Térmico en Carro Tanque para Extracción de Tubos 50
Evaluación de Resultados 51
Elaboración del Diagrama de Espagueti en la estación de Equipamiento y Enfriamiento. 52
Elaboración del Diagrama de Espagueti en el Área de Prueba Hidrostática 52
Elaboración de Layout 53
Elaboración de análisis del dispositivo (material, dibujo) 55
Elaboración de diagrama de flujo 57
Elaboración de la toma de tiempos y movimientos y monitoreo térmico 61
ESTUDIO DE TIEMPOS 61
Tablero Yamazumi 62
Registro de temperaturas del muestreo del proceso 63
Diagrama de espagueti de la operación de Equipamiento y Enfriamiento. 72
Conclusiones 74

Competencias desarrolladas 74

Fuentes de información 76

Anexos 77

Anexo A. Normativas de referencia 77

Anexo B. Glosario técnico 77

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.Grados Celsius 22
Ilustración 3.Gigapascal 23
Ilustración 4.Megapascal 23
Ilustración 5. Watts por metro-kelvin 23
Ilustración 6.Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PHT) 24
Ilustración 7.Ejemplo de grafico 25
Ilustración 8.pirómetros 25
Ilustración 9.Ejemplo de pirómetro calibrado 26
Ilustración 10.Ejemplo de Transferencia de Calor y Enfriamiento Industrial 26
Ilustración 11. Ejemplo de conducción 27
Ilustración 12. Ejemplo de convección 28
Ilustración 13.Radiación 29
Ilustración 14. Ejemplo de manómetro 30
Ilustración 15.Ejemplo de Registrador gráfico 31
Ilustración 16.Ejemplo de estación de trabajo 31
Ilustración 17.Ejemplo de herramientas de análisis de trabajo 32
Ilustración 18.Ejemplo del Calor específico 32
Ilustración 19. Ejemplo de un diagrama de flujo 33
Ilustración 20. Ejemplo de un VSM (Value Stream Mapping) 34
Ilustración 21. Ejemplo de un Layout 34
Ilustración 22.Ejemplo de una toma de tiempos 35
Ilustración 23. Ejemplo de un diagrama de espagueti 35
Ilustración 24.Ejemplo de un FODA 36
Ilustración 25.Ejemplo de un plano realizado en SolidWorks 37
Ilustración 26.Ejemplo de normativas AAR, DOT y NOM 38
Ilustración 27.Ejemplo de termopares 39

Ilustración 28.Representación de la termodinámica 39
Ilustración 29. Representación de la primera ley de la termodinámica 40
Ilustración 30.Resultado del leyout de la prueba hidrostática..... 53
Ilustración 31.Resultado del layout del equipamiento y enfriamiento 54
Ilustración 32. Resultado de dibujo en 3D del carro tanque e implementación 56
Ilustración 33.Resultado del modelado en 2D 56
Ilustración 34.Diagrama de flujo de operaciones 57
Ilustración 35. Ejemplo de diagrama de flujo de áreas involucradas..... 58
Ilustración 36.Resultado del diagrama de flujo de prueba hidrostática 58
Ilustración 37.Resultado del diagrama de flujo de enfriamiento y equipamiento..... 59
Ilustración 38. Resultado de (VSM) del equipamiento y enfriamiento 60
Ilustración 39.Resultado del estudio de tiempos en equipamiento y enfriamiento 61
Ilustración 40. Resultado de yamazumi 62
Ilustración 41. Registro de temperaturas del muestreo del proceso 71
Ilustración 42.Resultado del diagrama de espagueti 72
Ilustración 43.Resultado del análisis del diagrama de espagueti 72
Ilustración 44.Resultado del FODA..... 73

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema de control térmico aplicado a los carros tanque fabricados en la planta Greenbrier Xicohténcatl I, localizada en el estado de Tlaxcala. Este sistema está enfocado específicamente en la operación de Equipamiento y Enfriamiento, con el objetivo de optimizar las condiciones térmicas del proceso. Gracias a esta implementación, la prueba hidrostática se ve beneficiada, ya que depende del adecuado enfriamiento de los carros tanque para poder realizar la actividad de extracción de tubos la cual es una actividad critica dentro del proceso productivo. Actualmente, los carros tanque llegan a esta etapa con **temperaturas internas elevadas (70°C)**, producto del calor acumulado durante procesos previos, particularmente después del tratamiento en el **horno relevado**. Esta operación tiene como finalidad corregir deformaciones, errores o posibles fisuras generadas en las placas metálicas que conforman el tanque, las cuales se ven afectadas por las tensiones provocadas en las uniones mediante soldadura. Sin embargo, este proceso térmico deja una gran cantidad de **calor residual** en el cuerpo del tanque, el cual no se disipa completamente al llegar al área de equipamiento.
Como consecuencia, la manipulación de los tubos en el interior del tanque se vuelve **difícil y riesgosa**, exponiendo al personal a **condiciones térmicas inseguras**, afectando la ergonomía del trabajo y generando retrasos significativos en el flujo de producción.
Para abordar esta problemática, se propone una solución técnica integral que permita disminuir la temperatura del tanque de manera **segura, eficaz y rápida**, asegurando un entorno más seguro para los operadores, agilizando el proceso de extracción de tubos, y mejorando el rendimiento operativo general.

El proyecto contempla diversas actividades clave como:

- Análisis detallado del proceso actual.
- **Monitoreo térmico** del tanque para obtener datos reales y confiables.
- Modelado del sistema propuesto en **SolidWorks**.
- Elaboración de propuestas técnicas de mejora.
- Desarrollo de un layout del área de Prueba Hidrostática, con el propósito de comprender de manera más precisa la distribución del espacio que será beneficiado como área cliente, derivado de la implementación realizada en la operación previa.

- Desarrollo de un layout de la operación de Equipamiento y Enfriamiento, con el propósito de comprender con mayor detalle el área en la que se llevará a cabo la implementación del sistema de control térmico.
- Implementación de la alternativa seleccionada.
- **Evaluación comparativa de resultados** antes y después de la intervención.

Además, se hará uso de herramientas de análisis de procesos y mejora continua como: **VSM (Value Stream Mapping), toma de tiempos, análisis FODA, SIPOC, diagrama de espagueti y pruebas térmicas**, con el fin de asegurar que la solución esté alineada tanto con los objetivos operativos de la planta como con los estándares de seguridad y calidad industrial. Cabe señalar que el sistema se aplicará **exclusivamente en el área de equipamiento antes de la prueba hidrostática**, sin intervenir en otras etapas del proceso de fabricación como soldadura o pintura. Esta delimitación responde al enfoque específico del proyecto en resolver la problemática térmica puntual que se presenta en esta sección del proceso.

La implementación de este sistema busca generar beneficios tangibles en dos ejes principales:

- **Seguridad operativa:** reduciendo el riesgo de maniobras inseguras y la exposición del personal a cambios bruscos de temperatura, que pueden derivar en enfermedades como gripe u otros malestares por choque térmico. Dentro del tanque las temperaturas son elevadas, mientras que fuera de él existen corrientes de aire y condiciones más frías, lo que favorece afecciones respiratorias frecuentes.
- **Eficiencia del proceso:** disminuyendo los tiempos de espera relacionados con el enfriamiento del tanque y facilitando la extracción de tubos.

En conjunto, este proyecto representa un esfuerzo por **innovar en los procesos industriales de la planta**, fortaleciendo el compromiso de Greenbrier con la **mejora continua, la eficiencia operativa y la seguridad laboral**.

Generalidades del proyecto

El presente proyecto se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de control térmico para los carros tanque, específicamente durante la operación de Equipamiento y enfriamiento antes de la prueba hidrostática y la actividad de extracción de tubos, realizada en la ya mencionada prueba hidrostática dentro de la planta Greenbrier Xicohténcatl I, ubicada en el estado de Tlaxcala.

Durante esta fase del proceso, los carros tanque presentan temperaturas elevadas en su estructura, producto del calor residual acumulado en etapas previas de fabricación. Esta condición térmica representa un reto significativo, ya que dificulta la extracción segura y eficiente de los tubos, incrementa los riesgos laborales para los operadores, y afecta negativamente los tiempos de ciclo, generando impactos en la productividad global del proceso.

Este proyecto surge como respuesta directa a dicha problemática, con el objetivo general de diseñar, implementar y evaluar un sistema que permita reducir eficazmente la temperatura del cuerpo del tanque. Esta solución busca mejorar las condiciones de seguridad, aumentar la eficiencia operativa y optimizar el entorno de trabajo durante una etapa crítica de producción. El entorno operativo en el que se desarrolla este proyecto está regido por estándares rigurosos en materia de seguridad industrial y eficiencia, tanto por normativas internas de la empresa como por los requerimientos técnicos del sector ferroviario. En este contexto, cualquier mejora implementada en el proceso no solo impacta en la operatividad diaria, sino también en la reputación técnica y competitiva de la empresa ante sus clientes, tanto nacionales como internacionales. La gestión térmica, en este sentido, constituye un factor clave para asegurar la continuidad del flujo de producción y mantener un control de calidad confiable.

Para alcanzar los objetivos propuestos, el proyecto contempla una serie de etapas metodológicas, entre las que se incluyen:

- Diagnóstico del proceso actual, mediante el monitoreo térmico del tanque y análisis de los tiempos de operación.
- Modelado y análisis del sistema de enfriamiento propuesto, utilizando herramientas de diseño asistido por computadora como SolidWorks.
- Elaboración de un **layout** detallado de la operación de Equipamiento y Enfriamiento, con el propósito de evaluar el espacio físico disponible y facilitar la integración del nuevo sistema.
- Elaboración de un **layout** detallado del área de Prueba Hidrostática, con el propósito de comprender de manera más precisa la distribución del espacio que será beneficiado como área cliente
- Desarrollo de propuestas técnicas y selección de la alternativa más viable, apoyada en herramientas de análisis como el FODA, el SIPOC y el diagrama de espagueti.
- Finalmente, la implementación del sistema seleccionado, seguida de pruebas funcionales y una evaluación comparativa con los datos base previamente recolectados.

Cabe resaltar que este proyecto se encuentra delimitado exclusivamente al área de equipamiento y Enfriamiento, ya que es en esta operación en donde se presenta la problemática térmica vinculada al proceso de prueba hidrostática y la intervención directa del personal. No se contempla la intervención en otras etapas del proceso productivo, como soldadura, pintura o transporte.

Con la implementación de esta solución, se busca generar beneficios concretos en dos dimensiones principales:

- Seguridad operativa: reduciendo el riesgo de maniobras inseguras y la exposición del personal a cambios bruscos de temperatura, que pueden derivar en enfermedades como gripe u otros malestares por choque térmico. Dentro del tanque, las temperaturas son elevadas, mientras que fuera de él, existen corrientes de aire y condiciones más frías, lo que favorece afecciones respiratorias frecuentes.
- Eficiencia del proceso: disminuyendo los tiempos de espera relacionados con el enfriamiento del tanque y facilitando la extracción de tubos.

En resumen, este proyecto representa una iniciativa técnico-operativa orientada a la mejora continua, con un impacto directo en los indicadores de producción, la cultura de seguridad y la sostenibilidad de los procesos industriales dentro de la planta Greenbrier Xicohténcatl I.

Introducción

En la industria ferroviaria, los procesos de fabricación y prueba de carros tanque requieren altos estándares de seguridad, eficiencia y control técnico. Uno de los puntos críticos dentro del flujo de producción en la planta Greenbrier Xicohténcatl I es la etapa de enfriamiento en la prueba hidrostática y extracción de tubos, en la cual los carros tanque, tras haber pasado por procesos térmicamente intensivos, conservan temperaturas elevadas que afectan directamente la operación. A pesar de utilizarse actualmente un sistema de enfriamiento por agua en los coils o el cuerpo del tanque, este método resulta insuficiente, lo que obliga a los operadores a ingresar al tanque en condiciones térmicas desfavorables, generando riesgos a la seguridad, afectaciones ergonómicas y retrasos en el proceso.

Este proyecto surge como respuesta a dicha problemática, planteando el diseño e implementación de un sistema de control térmico que permita reducir de forma eficaz la temperatura del cuerpo del tanque antes de la intervención manual, mejorando así la seguridad del personal, la eficiencia del proceso y la confiabilidad del procedimiento.
El presente documento desarrolla un análisis completo de la situación actual, proponiendo una metodología dividida en distintas fases para abordar el problema de forma técnica y estructurada.

Entre las actividades que se detallan a lo largo del proyecto se encuentran: la definición del alcance y objetivos, la elaboración de diagramas de flujo del proceso y del mapa de valor (VSM), el análisis del dispositivo a utilizar (tanto en sus materiales como en su representación en SolidWorks), así como la recolección de datos por medio de toma de tiempos y monitoreo térmico del tanque.

A partir de esta base, se presentan diferentes propuestas de solución, evaluadas mediante criterios de factibilidad técnica y operativa. Posteriormente, se lleva a cabo la implementación del sistema seleccionado, seguida de una evaluación comparativa de resultados, para medir el impacto real de la solución en los indicadores clave del proceso. Finalmente, se incluyen las conclusiones generales del proyecto, evidenciando su contribución tanto a nivel técnico como organizacional.

Este documento no solo busca resolver una necesidad operativa inmediata, sino también aportar una solución escalable y estandarizable, alineada con los principios de mejora continua, seguridad industrial y eficiencia productiva que rigen las operaciones de Greenbrier.

Descripción de la empresa
Greenbrier Tlaxcala es una empresa de clase mundial especializada en el diseño, fabricación y comercialización de ferrocarril, incluyendo los servicios de reparación y venta de equipos ferroviarios desde 1919. La empresa tiene operaciones en Norteamérica, incluyendo a México, Brasil y Europa. En lo que va de la administración actual, Tlaxcala ha captado 15 mil millones 26 mil pesos en inversión privada, con la instalación de 29 nuevas empresas, lo que la ubica como la quinta entidad con mayor inversión extranjera directa a nivel nacional.

Política de calidad
Greenbrier está comprometido a proporcionar productos y servicios seguros que cumplan con todos los estándares y expectativas del cliente requeridos a través de la mejora continua de nuestro programa de calidad.

Prioridades de la empresa
Seguridad, Calidad, Respeto a las persona y satisfacción al cliente.

Misión y visión de Greenbrier
La misión de Greenbrier Tlaxcala es producir los mejores carros de carga de ferrocarril en un ambiente seguro, mejorando el entorno y bienestar de los trabajadores para superar las expectativas de nuestros clientes.
La visión de Greenbrier Tlaxcala es ser el primer proveedor de servicios integrales de transportes de carga, destacando su compromiso con la excelencia t el liderazgo en la industria.

Actualmente, el nivel de producción de la planta es de cinco carros tanque por turno. La empresa opera con dos turnos diarios, alcanzando una producción de diez carros por día y un total aproximado de cincuenta unidades por semana. La planta cuenta con ocho líneas dedicadas directamente a la fabricación de estos carros tanque entre ellas se incluyen los procesos de armado, denominados **Producción Metálico**, y las líneas de pintura, conocidas como **Producción Pintura**.

Además, la empresa dispone de otras naves que no participan directamente en el armado de los carros tanque, pero que se encargan de fabricar componentes específicos necesarios para su ensamble. En algunos casos, la producción interna de estas piezas contribuye a reducir costos en comparación con la compra a proveedores externos. Estas naves de fabricación complementaria son **Fabricación Pesada**, **Sub-Ensambles** y **Plasma City**, esta última conformada por cuatro bahías productivas.

La **Prueba Hidrostática** constituye una operación complementaria de gran relevancia dentro del proceso productivo, ya que la extracción de tubos del interior de los carros tanque es una etapa indispensable para permitir el tránsito del producto desde **Producción Metálico** hacia **Producción Pintura**. Esta actividad garantiza que los carros tanque completen su ciclo de fabricación y sean enviados como producto terminado, cumpliendo con las características de calidad requeridas por el cliente y las normas bajo las cuales opera la empresa, tales como las **ARR**, **DOT** y **NOM**.

Descripción del puesto o área del trabajo el estudiante.
Durante mi residencia profesional, me desempeño en el área de **Mejora Continua**, la cual tiene como objetivo identificar, desarrollar e implementar proyectos enfocados en optimizar los procesos, aumentar la eficiencia operativa y promover una cultura de mejora constante en toda la planta.
Mis actividades dentro del área incluyen:

- Participación en **proyectos de mejora**, desde su planteamiento hasta su implementación y seguimiento.
- Apoyo en la ejecución del programa **5's**, promoviendo la estandarización, limpieza y orden en las áreas de trabajo por medio de auditorías internas en las diferentes áreas de la empresa eso incluye las líneas de producción, talleres de las diferentes áreas como manufactura o mantenimiento, almacenes y centro de desarrollo de habilidades (CDH), también en la elaboración de la documentación necesaria para poder realizar actividades que involucran al programa y metodología de 5S´s y la constante actualización de los (formatos, documentos o información) necesaria para la correcta realización y ejecución del programa.
- Colaboración en el proyecto **"Kaizenízate"**, enfocado en incentivar mejoras continuas propuestas por el personal operativo involucrándome activamente en la ejecución de este proyecto con reuniones con equipos para la elaboración de sus propuestas y

apoyando en la celebración de cada una de las ocasiones en las que se presentaban estos proyectos con supervisores y gerentes de la empresa.

- **Toma de tiempos y análisis de procesos** para detectar cuellos de botella u oportunidades de optimización.
- **Elaboración de layouts** para nuevas distribuciones en las líneas de producción ya sea por motivos de nuevas implementaciones o por que se realizaban movimientos de estaciones de trabajos entre líneas para su mayor eficiencia.
- **Delimitación de áreas de trabajo**, colocación de **letreros de identificación**, y mejora del entorno físico de la planta para reforzar la seguridad y el orden esto se realizó durante toda la estancia en la empresa ya que es parte del programa de 5S´s que lleva a cabo el departamento de Mejora Industrial.

Estas actividades me han permitido contribuir al cumplimiento de los objetivos del área de Mejora Continua, además de fortalecer mis habilidades técnicas, de análisis y de gestión de proyectos en un entorno industrial altamente competitivo.

Problemas a resolver, priorizándolos

1. Alta temperatura residual en el tanque a pesar del enfriamiento con agua (Muy alta prioridad)

- **Descripción:** Durante la operación de **Equipamiento y Enfriamiento** actualmente el proceso de enfriamiento se basa en dejar que el carro tanque se enfríe a temperatura ambiente lo cual hace que el carro tanque no logre bajar su temperatura de forma efectiva, el carro tanque dura 40 minutos en la operación de Equipamiento y Enfriamiento antes de pasar a la prueba hidrostática ya después en la operación de **Prueba Hidrostática** actualmente se emplea agua en el interior del tanque como método de enfriamiento. Sin embargo, este proceso es lento e ineficaz para reducir la temperatura a niveles seguros ya que la temperatura del cuerpo del tanque no se enfría de forma pareja ya que, en el centro del tanque, la parte superior del tanque no logra enfriar de la manera que se espera.

- **Consecuencia:** El tanque continúa registrando temperaturas elevadas incluso después del tiempo que en carro tanque se dejó enfriando, generando condiciones inseguras durante la operación de extracción de tubos y generando más tiempo de espera y haciendo que el carro tanque pase más tiempo de lo necesario dentro de la prueba hidrostática.

- **Motivo de prioridad:** Es el principal obstáculo técnico para resolver. Su persistencia compromete tanto la seguridad para los operadores como la eficiencia operativa en la línea de trabajo.

2. Riesgo para el operador al ingresar al tanque caliente (Muy alta prioridad)

- **Descripción:** A pesar del enfriamiento, los operadores deben ingresar al tanque para retirar los tubos mientras este aún conserva altas temperaturas.

- **Consecuencia:** Se expone al personal a quemaduras, incomodidad térmica y fatiga por calor, aumentando el riesgo de accidentes laborales y aumenta la probabilidad de generar alguna condición medica crónica.

- **Motivo de prioridad:** Afecta directamente la integridad física del trabajador y puede provocar incidentes graves durante la operación de extracción de tubos.

3. Proceso de enfriamiento lento y no estandarizado (Alta prioridad)

- **Descripción:** El sistema actual no cuenta con un método estandarizado ni automatizado de control térmico. El tiempo que tarda en enfriar varía y no siempre es suficiente.
- **Consecuencia:** Aumentan los tiempos de espera entre procesos, lo que retrasa la operación y reduce la productividad del resto de la línea de igual forma esto genera que haya personal operativo que durante este cuello de botella no tengan actividades a realizar.
- **Motivo de prioridad:** Impacta en el flujo de trabajo, genera cuellos de botella y dificulta la planificación operativa.

4. Ausencia de datos térmicos confiables (Media prioridad)

- **Descripción:** No existen registros cuantitativos y sistemáticos sobre la evolución de la temperatura durante y después del proceso de prueba hidrostática.
- **Consecuencia:** Las decisiones operativas se toman de forma empírica, basadas únicamente en la experiencia del personal.
- **Motivo de prioridad:** Limita el diseño y la evaluación objetiva de mejoras, pero puede resolverse con monitoreo en paralelo al desarrollo técnico.

5. Incomodidad y baja ergonomía en la extracción manual de tubos (Media prioridad)

- **Descripción:** El calor dentro del tanque dificulta la operación manual y el uso de equipo de protección adecuado, afectando la ergonomía de la tarea.
- **Consecuencia:** Se incrementa la fatiga del operador, lo que puede reducir su rendimiento y aumentar la probabilidad de errores, lesiones o enfermedades crónicas.
- **Motivo de prioridad:** Es una consecuencia directa del problema térmico y puede mejorarse una vez que se controle la temperatura.

Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control térmico en el carro tanque con el fin de disminuir la temperatura en el cuerpo del tanque durante la prueba hidrostática, facilitando así la operación de extracción de tubos y garantizando mayor seguridad para los operadores involucrados en la actividad de extracción de tubos y en eficientar el proceso productivo de la empresa.

Objetivos específicos

- Analizar las condiciones térmicas actuales del carro tanque durante la prueba hidrostática.
- Diseñar un sistema de control térmico adecuado.
- Implementar el sistema de control térmico en un entorno controlado.
- Evaluar la eficiencia del sistema implementado.
- Garantizar que el sistema cumpla con los estándares de seguridad industrial.

Justificación

Durante la prueba hidrostática los carros tanque fabricados en la planta **Greenbrier Xicohténcatl I**, presentan una condición operativa crítica (los tanques conservan una temperatura elevada debido a procesos térmicos anteriores). Aunque actualmente se emplea un sistema de enfriamiento por agua en los coils o en el interior del cuerpo del carro tanque, este método resulta **ineficiente y lento**, lo que obliga al personal a intervenir manualmente en condiciones térmicas adversas. Esta situación compromete la seguridad de los operadores, genera incomodidad ergonómica, incrementa el riesgo de accidentes por contacto con superficies calientes y retrasa significativamente el flujo productivo.

El proyecto justifica su implementación al **buscar una solución técnica y práctica a esta problemática recurrente**, mediante el diseño e instalación de un sistema de control térmico más eficaz, capaz de **reducir la temperatura del tanque en menor tiempo y de forma controlada**. La mejora no solo impacta en la seguridad, sino también en la eficiencia operativa, al reducir los tiempos de espera y facilitar la extracción de los tubos con menor riesgo y mayor precisión.

Además, al no existir actualmente un sistema específico ni datos térmicos documentados sobre este punto del proceso, se considera urgente implementar una solución que permita estandarizar el procedimiento, con base en datos reales y bajo criterios técnicos comprobables. Esto permitirá tomar decisiones fundamentadas, replicar la solución en otras unidades o procesos similares y dar cumplimiento a los principios de **mejora continua, calidad y seguridad industrial** que caracterizan a la empresa.

Por otro lado, este proyecto también representa una oportunidad de aprendizaje aplicado, integrando conocimientos de ingeniería, análisis de procesos, diseño mecánico, gestión de datos y evaluación de resultados. La implementación del sistema de control térmico no solo resolverá una necesidad inmediata de producción, sino que además aportará valor a largo plazo, elevando el nivel de confiabilidad del proceso y fortaleciendo el entorno de trabajo del personal operativo.

En resumen, la justificación del proyecto se basa en la **necesidad real de intervenir en una etapa crítica del proceso productivo**, mejorando las condiciones laborales, reduciendo tiempos improductivos y asegurando que el proceso de prueba hidrostática y extracción de tubos se realice de manera segura, eficiente y estandarizada.

Marco Teórico (fundamentos teóricos)

Propiedades del Material y Relevancia Técnica.

Los carros tanque están fabricados principalmente con acero al carbono, un material fundamental en la industria del transporte y almacenamiento de líquidos por su resistencia mecánica, tenacidad, ductilidad y facilidad de soldadura. El contenido de carbono de este acero oscila entre 0.12 % y 0.30 %, lo que proporciona un equilibrio óptimo entre resistencia y maleabilidad. Presenta un módulo de elasticidad de aproximadamente 200 GPa, un límite de fluencia de entre 250 y 350 MPa, y una alta conductividad térmica cercana a 50 W/m·K. Estas propiedades permiten que los tanques soporten las cargas internas y externas durante el transporte, el tratamiento térmico posterior a la soldadura y las pruebas hidrostáticas, sin deformarse ni perder integridad estructural. Además, la conductividad térmica hace que el calor se distribuya rápidamente en el metal, pero también se retenga durante períodos prolongados, lo que justifica la necesidad de un sistema de control térmico eficaz para proteger la seguridad de los operadores y garantizar la eficiencia del proceso de extracción de tubos.

El acero al carbono también se caracteriza por su coeficiente de expansión térmica de 12 x 10^-6 /°C, lo que implica que los cambios de temperatura durante el tratamiento térmico pueden generar tensiones internas significativas si no se controlan correctamente. La resistencia a la fatiga y la ductilidad aseguran que los tanques puedan tolerar repetidos ciclos de calentamiento y enfriamiento, esenciales para cumplir con los estándares de calidad. Con consultas a los ingenieros de calidad del área de cabina de horno relevado y con la revisión de datos técnicos permitieron verificar que la composición química y el comportamiento mecánico del material son adecuados para soportar los ciclos de tratamiento térmico y las presiones de prueba hidrostática requeridas.

°C (grados Celsius).

Unidad de medida de temperatura basada en los puntos de congelación (0 °C) y ebullición (100 °C) del agua, utilizada para cuantificar la energía térmica en procesos de transferencia de calor.



Ilustración 1.Grados Celsius

GPa (Gigapascal).
Unidad de medida de **presión o esfuerzo mecánico** en el Sistema Internacional (SI). 1 GPa equivale a 1 000 000 000 Pa (pascales). Se utiliza comúnmente para expresar el **módulo de elasticidad** de los materiales, indicando la rigidez del material ante deformaciones elásticas. Por ejemplo, un acero con un módulo de 200 GPa se deforma menos que otro con 100 GPa bajo la misma carga.



Ilustración 2.Gigapascal

MPa (Megapascal).
Otra unidad de presión o esfuerzo mecánico. 1 MPa = 1 000 000 Pa. Se usa frecuentemente para medir **límite de fluencia o resistencia a la tracción**, es decir, la tensión máxima que un material puede soportar sin deformarse permanentemente. En tu ejemplo, un límite de fluencia entre 250 y 350 MPa indica que el acero empieza a deformarse de forma plástica dentro de ese rango.

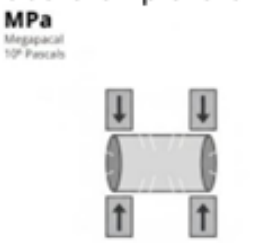


Ilustración 3.Megapascal

W/m·K (Watts por metro-kelvin).
Unidad de **conductividad térmica** en el SI. Indica la capacidad de un material para **conducir calor**: un valor de 50 W/m·K significa que, por cada metro de espesor y por cada diferencia de temperatura de 1 K, el material transfiere 50 W de energía térmica. Valores altos indican buena conductividad térmica, mientras que valores bajos corresponden a materiales aislantes.

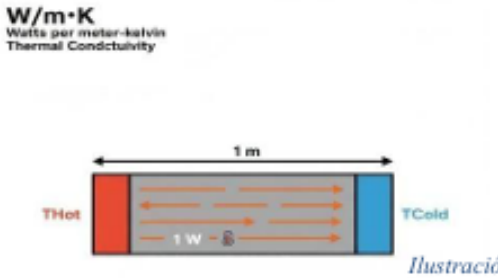


Ilustración 4. Watts por metro-kelvin

Tratamiento Térmico Posterior a la Soldadura (PHT).

El tratamiento térmico posterior a la soldadura tiene como objetivo aliviar tensiones residuales en las soldaduras de los tanques, mejorar la ductilidad de la unión y reducir el riesgo de fallas prematuras durante la operación. El procedimiento se realiza en hornos relevados controlados según las normas AAR Sección C Parte III y los procedimientos internos de la empresa. La temperatura del horno al ingresar el tanque no debe superar los 680 °C, y la velocidad de calentamiento se regula en función del espesor del material, con un máximo de 204 °C por hora. Durante el sostenimiento, la variación máxima de temperatura permitida en cualquier sección de 4570 mm es de 83,3 °C, asegurando un calentamiento uniforme y evitando gradientes térmicos que puedan producir deformaciones o micro fisuras. El enfriamiento se realiza en cámara cerrada o aire sin viento, con velocidades máximas de 260 °C por hora, garantizando que el tanque alcance condiciones seguras antes de su manipulación o transporte a la prueba hidrostática.

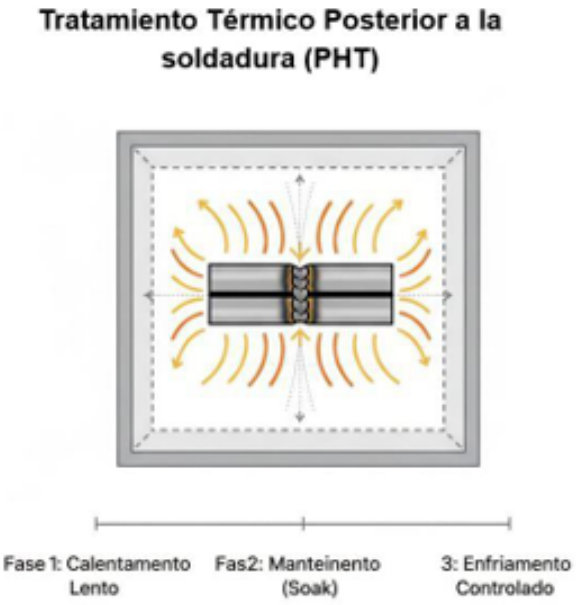


Ilustración 5.Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PHT)

En la siguiente gráfica se muestran los valores máximos (677°C) y mínimos (593°C) de temperatura permitidos durante el tratamiento térmico en horno, lo cual asegura que el proceso cumpla con los estándares establecidos por normas AAR y DOT para el alivio de tensiones en tanques de acero al carbono.

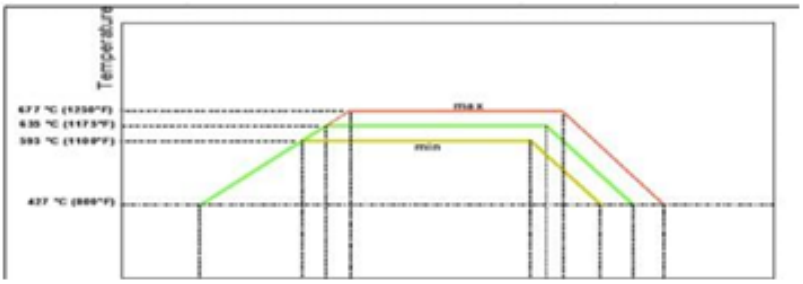


Ilustración 6.Ejemplo de grafico

El control térmico se apoya en pirómetros y termopares calibrados periódicamente, siguiendo los procedimientos de la instalación y con calibraciones realizadas cada tres meses. Los datos registrados permiten verificar que las temperaturas cumplan con los requisitos del material y del espesor del tanque, asegurando la repetibilidad y confiabilidad del proceso. La documentación gráfica de cada ciclo (registro temperatura-tiempo) se utiliza para validar la operación y cumplir con los estándares de aseguramiento de calidad.

Pirómetros

Los pirómetros son instrumentos diseñados para medir temperaturas elevadas sin necesidad de contacto directo con el material o superficie a evaluar. Su principio de funcionamiento se basa en la radiación infrarroja emitida por los cuerpos calientes, la cual es captada y transformada en una lectura de temperatura. En los procesos de control de hornos industriales, los pirómetros son esenciales para verificar que la temperatura interna se mantenga dentro de los rangos establecidos, garantizando uniformidad en el calentamiento y seguridad en la operación. Asimismo, constituyen una herramienta complementaria en las rutinas de calibración y monitoreo, al proporcionar mediciones rápidas y confiables que respaldan los registros del sistema del horno.

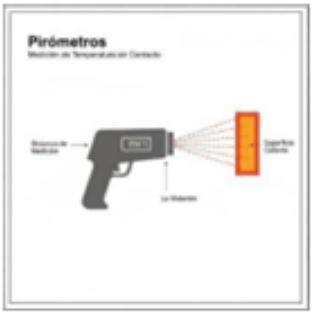


Ilustración 7.pirómetros

En la siguiente imagen se observa la etiqueta del pirómetro utilizado en cabina de horno relevado, donde se especifica la fecha de calibración, la vigencia y el responsable de esta. Este registro forma parte del sistema de aseguramiento de calidad y garantiza que las mediciones de temperatura sean confiables y repetibles.



Ilustración 8.Ejemplo de pirómetro calibrado

Transferencia de Calor y Enfriamiento Industrial.

La transferencia de calor se produce mediante conducción, convección y radiación, afectando directamente la temperatura de la superficie interna y externa del tanque. Durante el tratamiento térmico, la energía térmica se distribuye desde las zonas más calientes hacia las más frías por conducción a través del acero al carbono, mientras que la convección y radiación intervienen en la disipación hacia el aire circundante y los sistemas de enfriamiento.

El enfriamiento industrial puede ser pasivo, dejándose que el tanque pierda calor de forma natural, o activo, mediante agua, aire forzado o intercambiadores de calor. Actualmente, el enfriamiento activo mediante los coils o el cuerpo del tanque con agua es limitado, debido a la falta de control automatizado y a la baja velocidad de transferencia térmica. Esto provoca que los operadores deban esperar períodos prolongados antes de poder realizar la extracción de tubos, lo que incrementa el riesgo de exposición a altas temperaturas y retrasa el flujo del proceso. La implementación del sistema de control térmico permite reducir las temperaturas de manera homogénea, optimizando la seguridad y eficiencia de la operación.

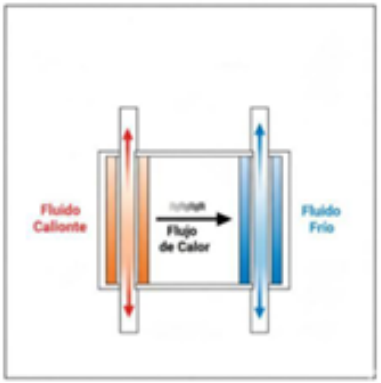


Ilustración 9.Ejemplo de Transferencia de Calor y Enfriamiento Industrial

Conducción.

La conducción térmica es el mecanismo de transferencia de energía térmica dentro de un cuerpo o entre cuerpos en contacto directo, cuando no existe transporte macroscópico de masa, sino que el calor se transmite por interacciones microscópicas (colisiones de átomos, fonones, electrones) desde la región de mayor temperatura hacia la de menor temperatura. Por ejemplo, la revisión de Austin J. Minnich (2014) señala que “heat conduction by phonons is a ubiquitous process” (el transporte de calor por fonones es un proceso ubicuo) y hace referencia al modo microscópico de esta conducción.

Otra fuente, de Zoltán Pásztory et al. (2021) define la conductividad térmica como “the time rate of steady-state heat flow through a unit area of a homogeneous material in a direction perpendicular to its isothermal surfaces”.

A partir de las definiciones anteriores, puede considerarse que la **conducción térmica** es el flujo de energía térmica que se produce mediante el contacto directo entre materiales (o en el interior de un cuerpo), sin desplazamiento de materia, impulsado por un gradiente de temperatura y gobernado por propiedades materiales como la conductividad térmica.



Ilustración 10. Ejemplo de conducción

Convección.

La convección térmica es el mecanismo de transferencia de energía térmica que ocurre a través de un fluido (líquido o gas) en movimiento, donde el calor se transmite por la combinación de la conducción interna del fluido y el transporte macroscópico del fluido mismo. En este sentido, el proceso involucra tanto la difusión térmica como el transporte en masa de la sustancia fluida.

Se distinguen dos modalidades principales: la convección natural (o libre), donde el movimiento del fluido es inducido por diferencias de densidad originadas por variaciones de temperatura, por ejemplo, un fluido que se calienta se hace menos denso y asciende y la convección forzada, en la cual el movimiento del fluido es impuesto por una fuente externa (ventilador, bomba, etc.).

A partir de lo anterior, puede entenderse que la convección térmica es el fenómeno por el cual el calor se transfiere dentro o desde un fluido en movimiento mediado tanto por conducción como por el flujo del propio fluido, al tiempo que dicho fluido es impulsado ya sea por fuerzas de flotabilidad (en el caso libre) o por mecanismos externos (en el caso forzado). Este mecanismo es esencial para numerosos procesos de intercambio de calor en ingeniería y para analizar la eficiencia térmica en sistemas con fluidos.



Ilustración 11. Ejemplo de convección

Radiación.

La radiación térmica es el mecanismo de transferencia de energía térmica en forma de ondas electromagnéticas que un cuerpo emite debido a su temperatura, y que puede propagarse incluso a través del vacío, sin que haya contacto directo o movimiento de fluido.

Este modo de transferencia de calor depende de la temperatura absoluta del emisor, de su emisividad, de las propiedades superficiales y del medio (o la ausencia de medio). Según el principio de que "todos los objetos con temperatura superior al cero absoluto emiten radiación", la potencia radiada de un cuerpo ideal (cuerpo negro) se modela mediante la ley de Stefan-Boltzmann $P = \sigma A T^4$

A partir de las definiciones anteriores la radiación térmica puede entenderse como el proceso por el cual un objeto cede energía térmica al medio o a otro objeto mediante emisión de ondas electromagnéticas, sin requerir un medio de transmisión ni transporte de masa, y cuyo flujo está determinado por la diferencia de temperatura, la emisividad de la superficie y las condiciones de vista o geometría entre emisores y receptores.

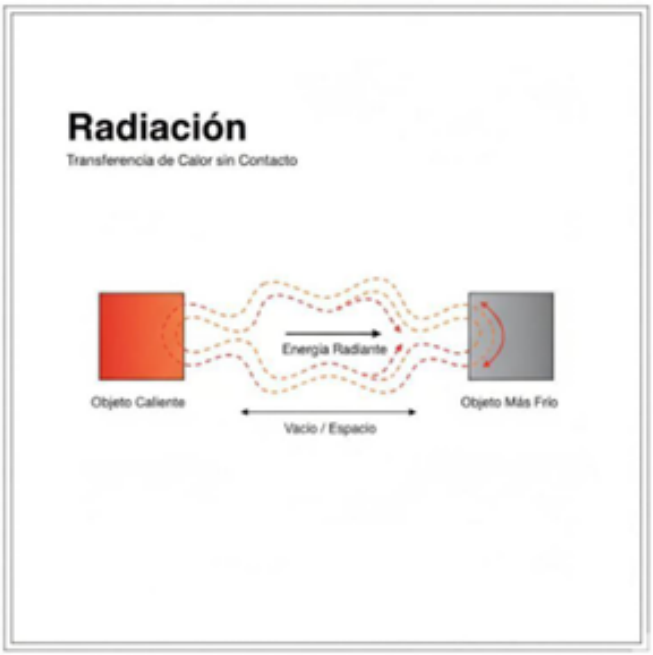


Ilustración 12.Radiación

Pruebas Hidrostáticas y Normatividad Aplicable.

La prueba hidrostática (HLT) asegura la hermeticidad y resistencia de los tanques, y debe cumplir con normas DOT 49CFR parte 179, estándares AAR Sección C Parte III y prácticas internas de Greenbrier. Durante la prueba, el tanque se llena de agua a temperaturas controladas entre 4,4 °C y 37 °C, evitando que diferencias térmicas generen errores en la medición de fugas o deformaciones. La presión se aplica gradualmente hasta alcanzar el valor especificado por el plano o norma, con tolerancias de ±20 psi, y el tiempo de sostenimiento mínimo es de 10 minutos, pudiendo extenderse hasta 2 horas. Cualquier fuga detectada se repara y se repite la prueba únicamente en la zona afectada, cumpliendo con criterios de aceptación estrictos que garantizan la confiabilidad de la estructura.

El equipo utilizado, como manómetros analógicos y digitales, registradores gráficos y termómetros, debe calibrarse regularmente para garantizar mediciones precisas y reproducibles. La calibración semestral y anual de los instrumentos asegura la consistencia de los datos y contribuye directamente a la seguridad de los operadores y a la validez de los resultados de prueba.

Manómetro.

Es un instrumento empleado para medir la presión de gases o líquidos dentro de un sistema. Funciona comparando la presión del fluido con la presión atmosférica o con una referencia interna, dependiendo del tipo de manómetro. Su uso es fundamental en procesos donde controlar la presión es clave para la seguridad, eficiencia y correcto funcionamiento de los equipos.



Ilustración 13. Ejemplo de manómetro

Registrador gráfico.

Es un dispositivo que permite registrar de manera continua variables como temperatura, presión o humedad, representándolas en gráficos a lo largo del tiempo. Este registro facilita el análisis del comportamiento del sistema, la detección de anomalías y la toma de decisiones para mantener condiciones óptimas durante los procesos.



Ilustración 14.Ejemplo de Registrador gráfico

Estación de trabajo.

Una **estación de trabajo** es un espacio físico o área específica dentro de un entorno laboral donde se realizan tareas técnicas o especializadas. Está equipada con las herramientas, equipos y recursos necesarios para llevar a cabo actividades como ensamblaje, medición, control de calidad o mantenimiento. El diseño ergonómico y funcional de la estación de trabajo es crucial para optimizar la eficiencia, reducir tiempos de operación y minimizar riesgos de accidentes. En ingeniería industrial, la correcta disposición de los elementos en la estación de trabajo contribuye a mejorar la productividad y la seguridad del personal.



Ilustración 15.Ejemplo de estación de trabajo

Herramientas de Análisis de Procesos

Las **herramientas de análisis de procesos** son técnicas, metodologías y dispositivos utilizados para examinar, evaluar y mejorar los procesos dentro de una organización. Su objetivo principal es identificar ineficiencias, cuellos de botella, variabilidades y áreas de mejora, permitiendo así optimizar el rendimiento, reducir costos y aumentar la calidad en la producción o prestación de servicios. Estas herramientas son fundamentales en disciplinas como la ingeniería industrial, la gestión de operaciones y la mejora continua.



Ilustración 16.Ejemplo de herramientas de análisis de trabajo

Calor específico

El **calor específico** es una propiedad física de los materiales que indica la cantidad de energía térmica que se necesita suministrar a una unidad de masa de un cuerpo para elevar su temperatura en un grado Celsius (°C). Esta propiedad depende del tipo de material y de su estado (sólido, líquido o gas), y es fundamental para el diseño y análisis de procesos térmicos, ya que permite calcular la energía requerida para calentar o enfriar un sistema. El conocimiento del calor específico es esencial en ingeniería, termodinámica e industria, ya que influye directamente en la eficiencia energética y en la selección de materiales adecuados para la transferencia de calor.



Ilustración 17.Ejemplo del Calor específico

Herramientas de Análisis de Procesos: Layout, Diagramas y Diagrama de Espagueti
Para optimizar la eficiencia del proceso, se emplean herramientas de diagnóstico como:

- **Diagrama de flujo:** El diagrama de flujo es una herramienta de representación gráfica que permite describir de manera clara y secuencial las operaciones o pasos de un proceso productivo. Su utilidad radica en facilitar la comprensión de la relación entre las distintas actividades, identificar puntos críticos y detectar posibles ineficiencias o cuellos de botella. En el proyecto del sistema de control térmico para la prueba hidrostática, el diagrama de flujo permite mapear todas las etapas de la operación, desde la llegada del tanque armado hasta la extracción de los tubos, incluyendo la integración del sistema de enfriamiento. Esto facilita la planificación de la implementación del sistema, asegurando que cada actividad se realice de manera segura, eficiente y en coordinación con las demás operaciones del proceso. Además, proporciona un soporte visual que mejora la comunicación entre los departamentos involucrados y sirve como base para la comparación de los tiempos actuales con los esperados después de la mejora.

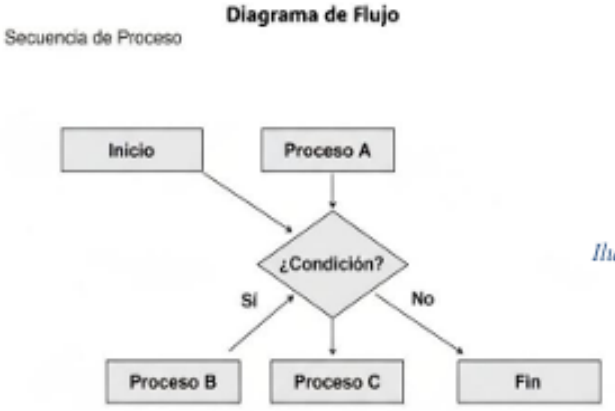


Ilustración 18. Ejemplo de un diagrama de flujo

- **VSM (Value Stream Mapping):** El Value Stream Mapping es una herramienta de la gestión de operaciones y Lean Manufacturing que permite identificar y diferenciar las actividades que agregan valor de aquellas que no dentro de un proceso productivo. Su aplicación ayuda a reducir tiempos muertos, minimizar desperdicios, mejorar la eficiencia operativa y optimizar el flujo de materiales e información. En el contexto de este proyecto, el VSM permite visualizar cómo la prueba hidrostática se integra dentro

del flujo general de los carros tanque, identificar cuellos de botella, como la variabilidad en los tiempos de enfriamiento, y determinar puntos específicos donde la implementación del sistema de control térmico puede generar un impacto significativo en la continuidad del proceso y la seguridad de los operadores.

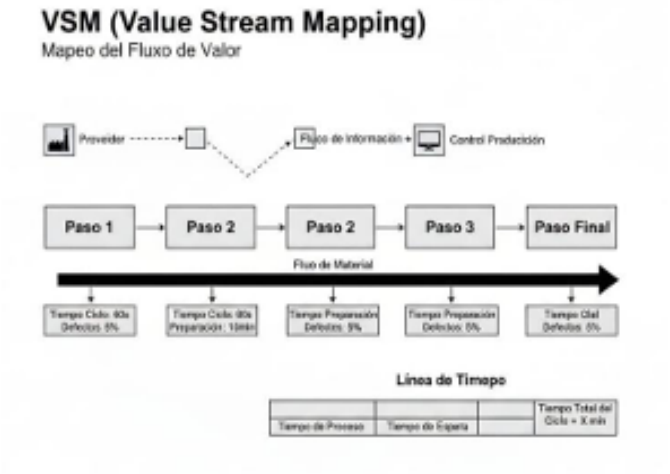


Ilustración 19. Ejemplo de un VSM (Value Stream Mapping)

- **Layout:** El diseño de layout se centra en la disposición física de los equipos, estaciones de trabajo y áreas de circulación dentro de una planta. Una correcta planificación del layout permite optimizar los movimientos de los operadores, mejorar la ergonomía, garantizar la seguridad y facilitar la integración de nuevas tecnologías o sistemas. En este proyecto, el layout de la nave de prueba hidrostática ayuda a definir la ubicación más adecuada para el sistema de control térmico, evitando interferencias en el flujo de trabajo y anticipando posibles riesgos asociados al traslado y manipulación de los tanques.

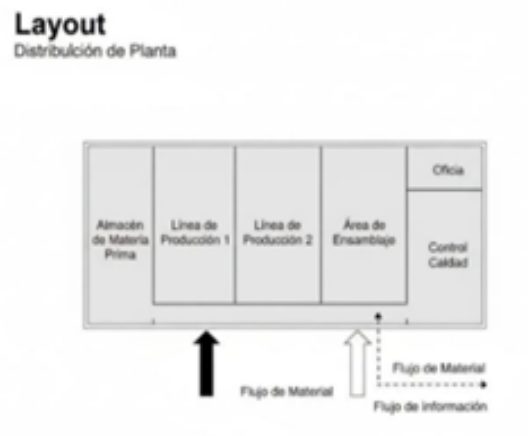


Ilustración 20. Ejemplo de u Layout

- **Toma de tiempos (o Estudio de tiempos)**: Es una técnica de medición del trabajo mediante la cual se registra el tiempo que un trabajador calificado invierte en realizar una tarea definida, bajo condiciones específicas y con un método estandarizado de ejecución. El propósito de la toma de tiempos es analizar dicha tarea con el fin de establecer un **tiempo estándar** que sirva como referencia para la planificación, control de la producción, asignación de recursos y mejora operativa.

  Este procedimiento consta de varias fases: descomposición de la tarea en elementos, medición de cada elemento (normalmente con cronómetro u otros instrumentos similares), ajuste de los tiempos medidos por factores como ritmo, fatiga o demoras inevitables, y finalmente el cálculo del tiempo estándar para la operación. La aplicación de la toma de tiempos es especialmente útil en procesos repetitivos de manufactura que buscan optimizar métodos, eliminar desperdicios de tiempo y mejorar la eficiencia del sistema productivo.



Ilustración 21.Ejemplo de una toma de tiempos

- **Diagrama de espagueti:** Esta herramienta gráfica representa los recorridos reales de los operadores y los materiales dentro del área de trabajo, permitiendo identificar movimientos innecesarios, redundancias y posibles puntos de mejora en la eficiencia operativa. Para el proyecto del sistema de control térmico, el diagrama de espagueti permite observar cómo los operadores interactúan con los tanques durante la prueba hidrostática y cómo se pueden optimizar sus desplazamientos, reduciendo esfuerzos físicos, tiempos de espera y riesgos asociados a la manipulación de los tubos.

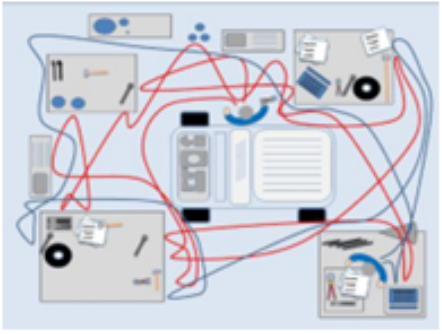


Ilustración 22. Ejemplo de un diagrama de espagueti

Análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas): El análisis FODA es una herramienta estratégica que permite evaluar los factores internos y externos que pueden influir en el éxito de un proyecto. Las **fortalezas** identificadas incluyen la funcionalidad y eficiencia del sistema de enfriamiento, que reduce los tiempos de espera y facilita la extracción de tubos de manera más segura. Las **oportunidades** consideran la posibilidad de integrar esta mejora tecnológica dentro de futuros procesos o líneas de producción, aumentando la competitividad de la planta. Entre las **debilidades** se encuentra la curva de aprendizaje que deben superar los operadores para utilizar correctamente el nuevo sistema, así como la inversión inicial requerida para su implementación. Finalmente, las **amenazas** pueden involucrar posibles fallas de adaptación, resistencia al cambio por parte del personal o dificultades en el mantenimiento del equipo. Aplicar el FODA en este proyecto permite planificar estrategias de mitigación de riesgos, optimizar la implementación y generar un enfoque equilibrado que maximice los beneficios del sistema de control térmico sin comprometer la seguridad ni la eficiencia del proceso.



Ilustración 23.Ejemplo de un FODA

Modelado en SOLIDWORKS.

- El modelado en **SolidWorks**, como herramienta de diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés), permite crear representaciones tridimensionales de sistemas mecánicos con alta precisión geométrica y funcional. Este tipo de modelado se fundamenta en la ingeniería de diseño y manufactura, ya que facilita la **visualización espacial**, el análisis de interferencias, la simulación de ensamblajes y el estudio del comportamiento de componentes antes de su fabricación física. Entre los beneficios teóricos del modelado 3D se encuentran la mejora de la comprensión del diseño, la reducción de errores constructivos y la optimización de la integración de sistemas complejos.

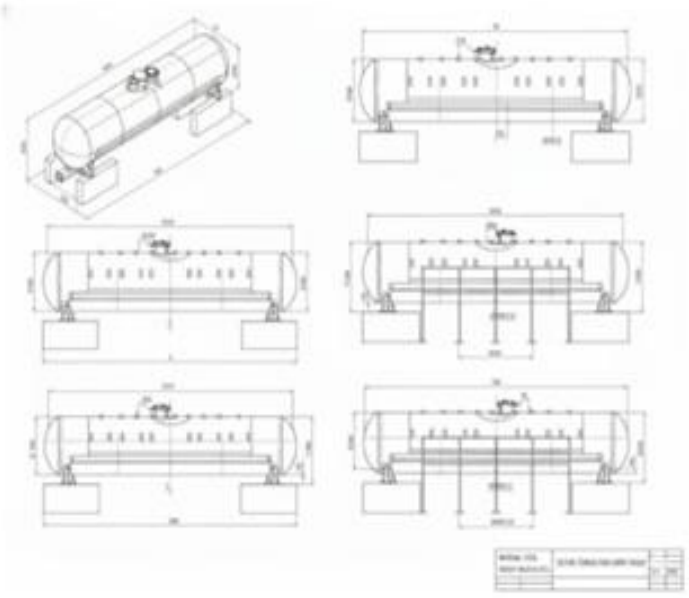


Ilustración 24.Ejemplo de un plano realizado en SolidWorks

El conocimiento profundo de las propiedades del acero al carbono, las normas AAR, DOT y NOM aplicables, los procedimientos de tratamiento térmico, pruebas hidrostáticas y herramientas de análisis de procesos, proporciona una base sólida para justificar la implementación del sistema de control térmico en carros tanque para extracción de tubos. Esto asegura seguridad para los operadores, eficiencia en los procesos y confiabilidad en los resultados de pruebas, cumpliendo con estándares industriales y normativos.

En conclusión, el marco teórico permitió reunir los fundamentos técnicos, normativos y de seguridad necesarios para comprender la importancia del tratamiento térmico, las pruebas hidrostáticas, el comportamiento del acero al carbono y las herramientas de análisis de procesos en el contexto de los carros tanque. Estos elementos sirven de soporte para justificar la propuesta y orientar las decisiones metodológicas. Con este sustento, se da paso al desarrollo del proyecto, en el cual se describen detalladamente las actividades realizadas durante el proceso de análisis, diseño y evaluación en la planta.



Ilustración 25.Ejemplo de normativas AAR, DOT y NOM

Termopares

Según un artículo publicado en *Recursos y Ciencia* en 2023, un termopar es un dispositivo que aprovecha el fenómeno termoeléctrico conocido como efecto Seebeck. Este fenómeno se refiere a la generación de una fuerza electromotriz (fem) cuando dos conductores de diferentes materiales están unidos en un extremo y se mantiene una diferencia de temperatura entre sus extremos. La magnitud de la fem generada es proporcional a la diferencia de temperatura entre los dos puntos de unión. Este principio convierte al termopar en un sensor de temperatura ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales y científicas debido a su simplicidad, robustez y capacidad para operar en un amplio rango de temperaturas.

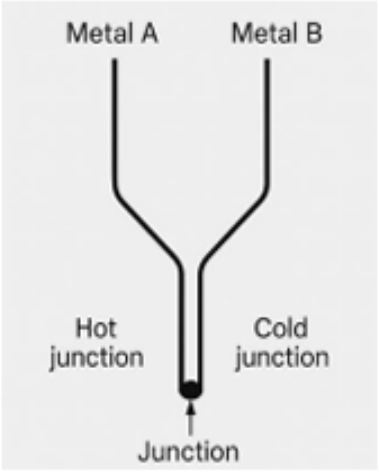


Ilustración 26.Ejemplo de termopares

Termodinámica y la Primera ley de la termodinámica

La termodinámica es una rama de la física que estudia los estados de equilibrio termodinámico a nivel macroscópico. Se enfoca en la transferencia de calor y trabajo entre sistemas, describiendo cómo la materia cambia de estado y cómo la energía se conserva y se transforma en procesos físicos y químicos.

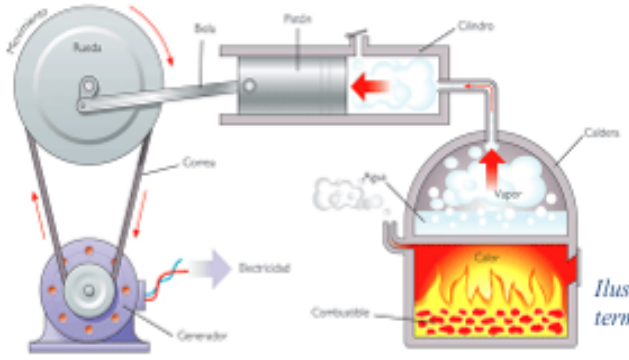


Ilustración 27.Representación de la termodinámica

Primera ley de la termodinámica

La **primera ley de la termodinámica** es una formulación del principio de conservación de la energía aplicada a sistemas termodinámicos. Establece que el cambio en la energía interna de un sistema cerrado es igual a la cantidad de calor suministrado al sistema menos el trabajo realizado por el sistema sobre su entorno. Matemáticamente, se expresa como:

$\Delta U = Q - W$



Ilustración 28. Representación de la primera ley de la termodinámica

Desarrollo

Definir alcance y objetivo

Se inició el proyecto con la elaboración del objetivo general y los objetivos específicos, los cuales fueron definidos con base en la problemática detectada en el área de equipamiento y Equipamiento antes de la prueba hidrostática. También se delimitó el alcance del proyecto, estableciendo que el sistema de control térmico se aplicaría únicamente en esta área, sin intervenir en otras etapas del proceso de fabricación de los carros tanque.

La redacción del objetivo y alcance se realizó con el apoyo del área de Mejora Continua, ingeniería Industrial y Seguridad Industrial considerando los estándares de seguridad industrial y eficiencia operativa. Esto permitió orientar todas las siguientes actividades del proyecto hacia una solución técnica viable y enfocada.

Elaboración del layout del área de trabajo en la prueba hidrostática

Después de la definición del alcance y los objetivos del proyecto, se procedió con la elaboración del layout de la operación de Equipamiento y Enfriamiento y del área de prueba hidrostática, una actividad fundamental para visualizar y analizar de manera estructurada la distribución física del espacio de trabajo, los recursos materiales y el flujo de operaciones que se llevan a cabo en esta sección de la planta.

La realización del layout se justificó en función de los principios de la ingeniería de métodos y distribución de planta, los cuales establecen que una correcta disposición de los elementos permite optimizar los tiempos de operación, mejorar la ergonomía de las actividades, garantizar la seguridad de los trabajadores y facilitar la integración de nuevas tecnologías o sistemas, como en este caso el control térmico.

Para su elaboración se siguieron los pasos siguientes:

Levantamiento de información en campo.

Se realizó un recorrido en la zona de Equipamiento y Enfriamiento, así como de la prueba hidrostática con el fin de identificar los recursos físicos existentes, la disposición del tanque durante la prueba, los puntos de conexión de agua, el espacio destinado al personal, las áreas de circulación, así como las entradas y salidas del área. También se documentaron las dimensiones principales del espacio, lo que permitió contar con información precisa para el diseño posterior.

Identificación de elementos críticos.
Durante el levantamiento se puso especial atención en aquellos factores que afectan directamente la problemática térmica, como las zonas con mayor concentración de calor residual en los tanques (las cuales son las tapas representadas como cara A y cara B así como la parte inferior del tanque), la ubicación del personal durante la extracción de tubos y las áreas donde existe riesgo por limitación de ventilación o acumulación de calor.

Representación gráfica mediante software CAD.
Con la información recolectada, se procedió a elaborar un plano digital en software de diseño asistido por computadora (CAD), representando de forma esquemática el área de trabajo y cada uno de sus elementos relevantes. Este layout proporciona una visualización clara del espacio y sirve como base para planear la futura integración del sistema de control térmico sin comprometer el flujo de trabajo ni la seguridad de los operadores.

El resultado de esta actividad fue un plano detallado del área de prueba hidrostática, que constituye un insumo esencial para el proyecto, ya que facilita la toma de decisiones respecto a la ubicación más adecuada del sistema de control térmico y permite anticipar riesgos asociados a la instalación.

Elaboración del diagrama de flujo
Como parte del desarrollo del proyecto, se elaboraron diagramas de flujo del proceso con el propósito de representar de manera clara y sistemática la secuencia de actividades realizadas en la fabricación y pruebas de los carros tanque. El objetivo principal de esta actividad fue identificar el lugar específico donde ocurre la problemática térmica, así como analizar con mayor detalle las operaciones relacionadas con la prueba hidrostática.

Para ello, se diseñaron dos diagramas complementarios:

Diagrama de flujo del proceso completo.
Este diagrama integra todas las fases de la fabricación de los carros tanque, desde las operaciones iniciales hasta la etapa de inspección final. Con esta representación global fue posible ubicar de manera precisa la etapa de prueba hidrostática y extracción de tubos dentro del flujo productivo, lo que facilitó comprender la relación entre esta fase y los procesos previos que influyen en la acumulación de calor residual.

Diagrama de flujo específico de la operación Equipamiento y Enfriamiento.
Posteriormente, se elaboró un segundo diagrama enfocado únicamente en la etapa de **Equipamiento y Enfriamiento**. Este nivel de detalle permitió desglosar cada paso involucrado en la operación, desde la preparación del tanque hasta la extracción final de los tubos. Gracias a este enfoque particular, se identificaron los puntos críticos donde se generan condiciones térmicas adversas y en los que resulta viable aplicar la propuesta del sistema de control térmico.

La elaboración de ambos diagramas se realizó con base en la información recabada durante los recorridos de campo, entrevistas con el personal del área y la observación directa de las operaciones. Para su diseño se emplearon convenciones estandarizadas de diagramación, lo que asegura una interpretación clara y consistente.

El resultado de esta actividad fue la obtención de dos herramientas gráficas que no solo describen el proceso de manera estructurada, sino que también sirven como soporte para el análisis, la comunicación de ideas y la planeación de la solución propuesta. De esta forma, los diagramas de flujo representan un insumo clave para la siguiente etapa del proyecto, ya que permiten visualizar con claridad el impacto del sistema de control térmico dentro del flujo operativo actual.

Análisis del Dispositivo (Material y Dibujo)
En esta actividad se llevó a cabo un análisis exhaustivo del dispositivo, abarcando tanto el material con el que está fabricado como la elaboración y estudio del dibujo técnico en SolidWorks.

Primero, se realizó la revisión del material de los tubos y componentes del sistema, evaluando propiedades como resistencia mecánica, durabilidad, compatibilidad con el medio ambiente y comportamiento ante cambios de temperatura. Esta información permite anticipar el desempeño del sistema de enfriamiento y sirve como base para complementarla con datos más específicos en etapas posteriores.

Paralelamente, se trabajó en la elaboración del modelo 3D en SolidWorks, recreando la geometría del sistema de tubos tal como se muestra en la imagen isométrica. Se modelaron los tubos principales y sus tres conexiones, que conforman el flujo interno del sistema de enfriamiento. Durante este proceso se analizó la disposición, la relación entre los tubos y la forma en que se conectan entre sí, permitiendo comprender cómo el sistema permite la

circulación del fluido de enfriamiento y su funcionalidad sin interactuar directamente con el tanque.

Se capturaron imágenes del modelo en SolidWorks, destacando las vistas principales y los detalles de las conexiones de los tubos, acompañadas de descripciones que explican la función de cada componente dentro del sistema. Esto facilita la comprensión del diseño, permite detectar posibles mejoras o ajustes, y sirve como referencia para etapas posteriores de fabricación, pruebas y validación.

Para documentar el procedimiento, se realizaron registros del modelo mientras se construía y analizaba, los cuales serán presentados posteriormente en la sección de resultados con las capturas y diagramas correspondientes.

Elaboración del Diagrama VSM (Value Stream Mapping)

En esta actividad se desarrolló el diagrama VSM (Value Stream Mapping) debido a que la empresa no contaba con un mapeo formal del flujo de valor de su proceso. El objetivo principal fue visualizar de manera integral todas las etapas del proceso, documentar la secuencia de operaciones y evidenciar las interacciones entre los distintos pasos, con el fin de identificar actividades que agregan valor y aquellas que generan retrasos o variabilidad.

Para la elaboración del VSM se llevó a cabo un proceso sistemático de recolección de información, donde se analizaron cada una de las estaciones de trabajo, los tiempos de operación y los tiempos de espera, así como la secuencia en que se realizan las actividades. Se recopilaron datos sobre la frecuencia de las operaciones, la cantidad de productos en cada etapa y las relaciones entre los distintos procesos. Con esta información se representaron gráficamente los flujos de materiales e información, permitiendo tener una visión completa del flujo de valor del proceso.

Durante el análisis se identificó que la prueba hidrostática constituye un cuello de botella dentro del flujo. Esto se debe a que los operadores de esta estación no siguen un horario fijo para iniciar la extracción de los tubos, ya que dependen del enfriamiento del tanque. Como resultado, la operación puede comenzar en horarios variables, por ejemplo, a las 11:40, 12:30 o más tarde, lo que genera interrupciones y tiempos de espera impredecibles para las etapas posteriores. Este hallazgo permite comprender mejor cómo la variabilidad en esta etapa impacta la continuidad del flujo del proceso, a diferencia de otros procesos, como el tiempo que los tanques permanecen en el horno, que se mantiene constante (aproximadamente 4 horas) y no representa un cuello de botella.

El diagrama VSM elaborado sirve como herramienta de análisis y documentación, proporcionando una representación clara y estructurada del flujo de valor actual. Además, permite visualizar las interacciones entre los distintos procesos y la importancia de la prueba hidrostática dentro del flujo total, evidenciando dónde se concentra la variabilidad y cómo esta afecta la programación y organización del trabajo. Esta actividad contribuye significativamente a la comprensión técnica del proceso y establece una base sólida para la interpretación de datos y la toma de decisiones futuras dentro del proyecto de titulación.

Toma de Tiempos del Proceso

En esta actividad se realizó la toma de tiempos de las distintas etapas del proceso, con el objetivo de documentar la duración de cada operación y analizar el flujo de trabajo completo. Esta información es fundamental para comprender la distribución del tiempo en cada fase y detectar variaciones o posibles cuellos de botella, como se había identificado previamente en la prueba hidrostática.

El procedimiento seguido consistió en registrar sistemáticamente los tiempos de cada actividad, desde la entrada del tanque al horno hasta la finalización de la prueba hidrostática. Específicamente, se tomaron los siguientes tiempos:

- **Tiempo en horno:** Se midió la duración que permanece el tanque dentro del horno, manteniendo el tiempo de proceso requerido de aproximadamente 4 horas.
- **Traslado del horno al exterior:** Se registró el tiempo desde que el tanque sale del horno hasta que se posiciona para ser levantado por la grúa viajera, aproximadamente 5 minutos.
- **Traslado hacia la estación de equipamiento:** Se midió el tiempo que tarda la grúa en mover el tanque hasta la estación de equipamiento y el tiempo que permanece en esta estación, aproximadamente 7 minutos.
- **Retorno con la grúa y traslado hasta colocación de trucks:** Se documentó el tiempo que tarda el tanque en ser levantado nuevamente por la grúa y trasladado hasta la colocación de los trucks, aproximadamente 3 minutos.

- **Traslado entre naves:** Se midió el tiempo que tarda el tanque en moverse desde la nave de la línea 4 hasta la nave de prueba hidrostática, aproximadamente 12 minutos.
- **Tiempo en la prueba hidrostática:** Se registraron varias actividades críticas dentro de esta estación:
    - Instalación del sistema actual de enfriamiento del tanque, aproximadamente 5 minutos.
    - Tiempo de enfriamiento del tanque, que presentó variabilidad dependiendo de la temperatura inicial y las condiciones de operación, aproximadamente de 30 minutos a 1hr.
    - Extracción de los tubos por parte de los operadores una vez que el tanque alcanzó la temperatura adecuada, aproximadamente 7 minutos.
    - El retiro del sistema actual de enfriamiento del tanque aproximadamente 5 minutos.

La toma de tiempos se realizó de manera sistemática y precisa, permitiendo observar las variaciones en la duración de las actividades y documentar los puntos del proceso donde se generan demoras o tiempos impredecibles, particularmente en la prueba hidrostática. Esta información sirve como base para el análisis del flujo de trabajo y complementa el diagrama VSM previamente elaborado, proporcionando evidencia cuantitativa sobre los tiempos de operación y los cuellos de botella identificados.

En conjunto, esta actividad permitió comprender de manera detallada la distribución del tiempo a lo largo del proceso, documentar los pasos críticos y generar información valiosa que respalda la planificación y la mejora del flujo de trabajo dentro del proyecto de titulación.
Además, durante la actividad se observó de manera directa cómo interactúan los operadores con cada etapa del proceso, registrando cada movimiento y verificando la coordinación entre las estaciones. Se compararon los tiempos planeados con los tiempos reales, identificando variaciones y ajustando la recolección de datos para asegurar precisión y consistencia en todas las mediciones. Esta observación permitió captar detalles importantes del flujo de trabajo, evidenciando dónde se generan tiempos de espera y cómo estos impactan la continuidad de las operaciones.

Finalmente, la actividad permitió analizar críticamente el comportamiento del proceso completo, registrar cada fase de manera meticulosa y generar información clara y confiable que respalda la comprensión del flujo de trabajo. Gracias a este procedimiento, se consolidó una base sólida de datos que facilitará la interpretación de los resultados y servirá como soporte técnico para las siguientes etapas del proyecto de titulación.

Monitoreo Térmico del Tanque

En esta actividad se realizó el monitoreo térmico del tanque, llevado a cabo en las mismas áreas donde se ejecutó el estudio de tiempos y movimientos. La finalidad de este monitoreo fue documentar la evolución de la temperatura del tanque durante las distintas etapas del proceso, proporcionando información clave sobre las condiciones térmicas que afectan la prueba hidrostática y otras operaciones posteriores.

El procedimiento consistió en registrar la temperatura del tanque utilizando un pirómetro, facilitado por el área de calidad, específicamente por la subárea de cabina de horno. Durante los primeros días, las mediciones se tomaron cada 5 minutos, con el objetivo de obtener un seguimiento detallado del comportamiento térmico inicial. Conforme avanzó el estudio y se obtuvo mayor familiaridad con el proceso, las mediciones se realizaron cada 10 minutos y posteriormente cada 20 minutos, ajustando la frecuencia de registro según la estabilidad observada en los datos.

Durante la actividad, se documentó sistemáticamente cada medición, registrando el tiempo y la temperatura correspondiente para cada etapa del proceso. Esto permitió identificar patrones de enfriamiento, variaciones de temperatura y periodos críticos donde el tanque alcanza temperaturas que podrían afectar la continuidad del proceso, especialmente en la prueba hidrostática.

El monitoreo térmico se realizó de manera simultánea con la toma de tiempos y movimientos, lo que permitió integrar ambas fuentes de información y analizar la relación entre los tiempos de operación y las condiciones térmicas del tanque.

Cabe destacar que este monitoreo térmico se realizó con el objetivo de generar un registro del comportamiento térmico del tanque antes de la implementación del sistema de enfriamiento propuesto en el proyecto. Esto permitirá comparar los datos obtenidos antes y después de la instalación del sistema, evaluando su efectividad y documentando de manera cuantitativa el impacto de la mejora en la operación del carro tanque.

Elaboración de análisis FODA

Análisis FODA del Sistema de Enfriamiento

Durante el desarrollo del proyecto, se realizó un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) con el objetivo de evaluar de manera integral la implementación del nuevo sistema de enfriamiento en el área de Equipamiento y Enfriamiento. Esta actividad permitió identificar los aspectos positivos y las posibles limitaciones asociadas a la adopción del equipo, considerando la perspectiva de eficiencia operativa y seguridad para los operadores.

Fortalezas (F): Mejora significativa en la funcionalidad y eficiencia del proceso, al permitir un enfriamiento más rápido del tanque.
Incremento en la seguridad de los operadores, al reducir la exposición a temperaturas elevadas durante la extracción de tubos.

Debilidades (D): Requiere un proceso de adaptación por parte de los operadores, debido a que es un sistema nuevo y puede presentar dificultades iniciales en su manejo.
La implementación del equipo implica recursos adicionales y planificación específica para integrarlo correctamente al flujo de trabajo.

Oportunidades (O): Posibilidad de optimizar el flujo operativo de la prueba hidrostática, disminuyendo tiempos de espera y mejorando la continuidad del proceso.
Potencial para establecer protocolos y hábitos de operación estandarizados que faciliten el uso correcto del sistema a largo plazo.

Amenazas (A): Riesgo de resistencia al cambio por parte del personal si no se proporciona la capacitación adecuada.
Posibles ajustes iniciales al sistema que puedan afectar temporalmente la eficiencia hasta lograr una operación estable.

El resultado del FODA sirvió como insumo para orientar la planificación de la implementación del sistema, destacando la necesidad de capacitación y acompañamiento a los operadores, así como la valoración de los beneficios esperados frente a los retos iniciales.

Elaboración de Propuestas de Mejora
En esta actividad se desarrollaron propuestas de mejora para optimizar el flujo del proceso y facilitar las operaciones de los operadores, considerando la futura implementación del sistema de enfriamiento del carro tanque. La actividad se realizó mediante juntas de trabajo con los departamentos de Mejora Continua, Ingeniería Industrial y Seguridad, con el objetivo de detallar el proceso, recopilar información de los datos que cada departamento había recolectado y considerar los comentarios de los operadores, así como las condiciones de trabajo actuales y las oportunidades de mejora antes de la implementación final.

Durante las reuniones, se analizaron diferentes aspectos del diseño del sistema, la disposición de los componentes y las posibles estrategias de implementación, evaluando alternativas que pudieran facilitar el trabajo de los operadores y mejorar la eficiencia del proceso sin comprometer la seguridad ni la integridad del tanque. Se discutieron observaciones sobre la secuencia de operaciones, la disposición de los equipos y las condiciones térmicas del tanque, con especial atención a la prueba hidrostática, identificada previamente como un cuello de botella del proceso.

Como resultado de este análisis colaborativo, se llegó a la conclusión mutua de aplicar un aspersor de agua debajo del tanque, una vez que este salga de la operación de horno, con el fin de enfriarlo parcialmente antes de trasladarlo a la estación de prueba hidrostática. Esta medida permitirá reducir la temperatura del tanque de manera más ágil, facilitando la extracción de los tubos por parte de los operadores y mejorando la continuidad del flujo del proceso, mientras se prepara la implementación completa del sistema de enfriamiento del carro tanque.

Esta actividad queda registrada como base para futuras decisiones, permitiendo documentar las propuestas, su justificación y la colaboración entre los departamentos involucrados. La información recopilada servirá para alimentar y actualizar el proyecto a medida que avance, asegurando que los ajustes o mejoras adicionales puedan integrarse sin necesidad de rehacer la documentación existente.

Implementación Preliminar del Sistema de Control Térmico en Carro Tanque para Extracción de Tubos

La implementación del sistema de control térmico se llevó a cabo conforme al plan conceptual desarrollado previamente, considerando la información obtenida durante los estudios de tiempos, el monitoreo térmico y el análisis de flujo. El proceso se ejecutó en etapas secuenciales con el objetivo de controlar la temperatura del tanque durante el Equipamiento y Enfriamiento, mejorando la eficiencia y la seguridad en la extracción de tubos por parte de los operadores en el área cliente que es la Prueba Hidrostática.

Etapa 1:

El sistema de enfriamiento térmico se instaló directamente en la nave donde se encuentra la operación de Enfriamiento y Equipamiento que es en el Sur de la Línea 4, ubicando el equipo en una posición estratégica que permitió enfriar el tanque de manera controlada sin interferir con el flujo de traslado ni con las operaciones de los trabajadores.

Se definieron las conexiones necesarias, los puntos de control térmico y la integración con el proceso existente, tomando como base la información obtenida en las juntas de Mejora Continua, Ingeniería Industrial y Seguridad.

Etapa 2:

El sistema de control térmico se incorporó al proceso cuando en la ubicación del Equipamiento y Enfriamiento se encontraba desocupada para así poder tener mayor mejor desempeño en la instalación y no generar condiciones adversas como lo son los incidentes o accidentes las cuales provocarían retrasos en la instalación del sistema generando que no se cumpliera con el objetivo de terminar la instalación del sistema de control térmico.

Una vez instalado el sistema esto permitió reducir la variabilidad en los tiempos de enfriamiento y facilitar la extracción de tubos, mejorando así la eficiencia y la continuidad del proceso, al mismo tiempo que se reforzaron las condiciones de seguridad y ergonomía de los operadores para poder mejorar sus actividades durante el turno laboral.

Etapa 3:

Previo a la operación completa, se realizaron pruebas piloto para evaluar la efectividad del sistema, medir la reducción de temperatura y verificar su correcta integración con las operaciones existentes. Con base en los resultados obtenidos, se ajustaron los parámetros de control térmico, la ubicación del equipo y los tiempos de operación, alcanzando un desempeño óptimo antes de su implementación definitiva.

Etapa 4:
Durante la etapa operativa, se continuó con el monitoreo térmico y la toma de tiempos, comparando los resultados con los registros previos a la instalación. El sistema demostró flexibilidad para realizar ajustes y calibraciones, lo que permitió mantener la eficiencia del enfriamiento y optimizar la extracción de tubos. Finalmente, se documentaron indicadores clave de desempeño, como los tiempos promedio de enfriamiento y las temperaturas alcanzadas, los cuales confirmaron la efectividad del sistema y respaldaron la toma de decisiones técnicas futuras.

Evaluación de Resultados
La evaluación de resultados tiene como propósito analizar e interpretar la información obtenida durante la ejecución de las actividades del proyecto, incluyendo la toma de tiempos, monitoreo térmico, diagramas de flujo y el estudio del cuello de botella en la prueba hidrostática. Esta actividad permite determinar la efectividad de las propuestas de mejora y del sistema de control térmico, así como validar la relación entre los tiempos de operación y las condiciones térmicas del tanque.

Para llevar a cabo la evaluación, se compararon los datos obtenidos antes y después de la implementación del sistema, analizando indicadores clave como los tiempos de enfriamiento, la temperatura promedio del tanque, la eficiencia en la extracción de tubos y la continuidad del flujo de trabajo. Se presentó la información en tablas y gráficos, facilitando la visualización de tendencias, variaciones y posibles áreas de mejora.

Además, esta actividad permitió identificar desviaciones, variaciones y oportunidades de optimización dentro del proceso, evidenciando cómo la implementación del sistema de control térmico impacta directamente en la reducción de la variabilidad de los tiempos de enfriamiento y en la eficiencia operativa general. La información recopilada sirvió como base para tomar decisiones técnicas y respaldar la conclusión del proyecto de titulación.

Finalmente, se documenta toda la evaluación de manera detallada, asegurando que los resultados sean claros, cuantificables y fácilmente comparables, lo que permitirá mantener un registro confiable de las mejoras logradas y proporcionará evidencia sólida sobre la efectividad del sistema de control térmico en el carro tanque para la extracción de tubos.

Elaboración del Diagrama de Espagueti en la estación de Equipamiento y Enfriamiento.
Durante el desarrollo del proyecto, se realizó un diagrama de espagueti en la estación de Equipamiento y Enfriamiento con el objetivo de visualizar y analizar los desplazamientos de los operadores, el flujo de los materiales y los recorridos de los equipos dentro de la estación. Esta herramienta permitió identificar movimientos innecesarios, redundancias y posibles oportunidades de mejora en la disposición del área, contribuyendo a optimizar la eficiencia del proceso y la ergonomía del personal. El procedimiento consistió en seguir el recorrido de los operadores y los materiales durante las actividades de equipamiento y enfriamiento, registrando cada movimiento y trazándolo sobre el plano del área. Esto permitió obtener una representación clara y detallada del flujo de trabajo, facilitando la identificación de zonas con desplazamientos excesivos o posibles cuellos de botella en la manipulación de los materiales y equipos.

Elaboración del Diagrama de Espagueti en el Área de Prueba Hidrostática.
Durante el desarrollo del proyecto, se realizó un diagrama de espagueti del área de prueba hidrostática con el objetivo de visualizar y analizar los desplazamientos de los operadores, el flujo de los materiales y los recorridos de los equipos dentro de la estación. Esta herramienta permitió identificar movimientos innecesarios, redundancias y posibles oportunidades de mejora en la disposición del área, contribuyendo a optimizar la eficiencia del proceso y la ergonomía del personal.

El procedimiento consistió en seguir el recorrido de los operadores y los materiales durante la prueba hidrostática, registrando cada movimiento y trazándolo sobre el plano del área. Esto permitió obtener una representación clara y detallada del flujo de trabajo, facilitando la identificación de zonas con desplazamientos excesivos o posibles cuellos de botella en la manipulación de los tubos y el tanque.

La información obtenida con el diagrama de espagueti sirve como base para proponer mejoras en la distribución del área, reducir tiempos de desplazamiento y optimizar la eficiencia operativa, aportando datos valiosos para complementar el análisis de tiempos y la implementación del sistema de control térmico en el carro tanque.

Con la finalización de la descripción de las actividades realizadas durante el proyecto, se da paso a la presentación de los resultados obtenidos. Esta sección integra las evidencias gráficas, tablas, planos y análisis que permiten respaldar y visualizar de manera clara los hallazgos y avances de cada actividad desarrollada

Resultados

Elaboración de Layout

A continuación, se presenta el layout correspondiente a la distribución actual del área de Prueba Hidrostática, elaborado a partir del recorrido realizado en la estación de trabajo y del levantamiento detallado de la información. Con el fin de facilitar la interpretación del esquema, se procede a describir las características y disposición de la estación, de manera que la información presentada pueda comprenderse con mayor claridad y precisión.

- Andamio ubicado al centro de la estación.
- Tanque de agua.
- Pantalla digital de información.
- Caja de herramientas.
- Rack de herramientas.
- Contenedores de chatarra.
- Mesa para cambio de discos de corte.
- Punto de hidratación.
- Compresor
- Equipos de enfriamiento (en ambos lados de la estación).
- Rack para objetos personales.
- Caja de equipo de protección personal (EPP).

En los laterales del andamio central se localizan los carros tanque, que permanecen estacionados en este sector durante el proceso de prueba hidrostática



Ilustración 29.Resultado del leyout de la prueba hidrostática

A continuación, se presenta el layout correspondiente a la operación de **Equipamiento y Enfriamiento**, elaborado con base en el levantamiento de información realizado en la estación y la observación directa del proceso. Con el objetivo de facilitar la interpretación del esquema, se describen a continuación los principales elementos que conforman el área:

- Cajas de herramientas identificadas como 418 y 418'.
- Igualador, ubicado en la parte central del área.
- Cuatro torres distribuidas a lo largo del carro tanque.
- Dos plumas utilizadas para el movimiento y posicionamiento de componentes.
- Dos ventiladores, referidos como 415 y 420, destinados al enfriamiento del área y del producto.
- Racks de almacenaje para materiales y herramientas auxiliares.
- Tres corrales empleados para la organización de materiales y equipos dentro de la estación.

Esta distribución permite llevar a cabo de manera eficiente las actividades de conexión, enfriamiento y preparación del carro tanque, asegurando que las condiciones del producto sean adecuadas para su posterior envío al área de Prueba Hidrostática.



Ilustración 30.Resultado del layout del equipamiento y enfriamiento

Elaboración de análisis del dispositivo (material, dibujo)

A continuación, se presenta el diseño de la implementación del sistema de control térmico elaborado en SOLIDWORKS, un software especializado en diseño asistido por computadora (CAD). En la representación isométrica se observa el carro tanque, el cual cuenta con grapas distribuidas alrededor del cuerpo del tanque y con **coils** ubicados en la parte inferior de ambos costados. En la parte superior se encuentra un **top unloading nozzle assembly** (comúnmente denominado “aguacate” debido a su forma característica), que funciona como el punto de entrada del fluido que contendrá el tanque durante su operación.

Asimismo, se visualiza el sistema de enfriamiento térmico, cuya función y estructura se detallan a continuación para una mejor comprensión. Este sistema está conformado por una red de tuberías interconectadas que permiten la circulación simultánea de aire y agua. El aire frío se distribuye a lo largo de la parte superior del tanque, mientras que el flujo de agua es rociado aprovechando la presión del aire, logrando así un eficiente proceso de enfriamiento.

Tras realizar diversas simulaciones en el software, se comprobó que el sistema propuesto cumple con los requerimientos de desempeño térmico, por lo que se aprobó la implementación del conjunto de conductos. Dichos conductos, dispuestos de manera uniforme en la parte superior del tanque, garantizan una **distribución homogénea del aire y del agua**. Cabe destacar que este sistema será aplicado en **ambos lados del tanque (A y B)**, es decir, en las secciones izquierda y derecha.

El objetivo esperado con la implementación de este sistema es lograr que la temperatura del carro tanque descienda a niveles seguros para el ingreso del personal, considerando que el valor máximo permitido es de **30 °C** en todo el cuerpo del tanque, tanto en el interior como en la superficie exterior. Por esta razón, el diseño cubre toda la extensión del cuerpo del carro tanque, garantizando una reducción térmica uniforme y segura. Gracias a ello, se espera mejorar las condiciones de seguridad y eficiencia en la estación de trabajo, al permitir que las actividades posteriores puedan realizarse sin riesgo por exposición a altas temperaturas.

La imagen siguiente corresponde al resultado obtenido tras el desarrollo del diseño del sistema de control térmico. Este modelo tridimensional sintetiza el trabajo realizado en la fase de diseño, reflejando la viabilidad técnica y funcional de la propuesta.

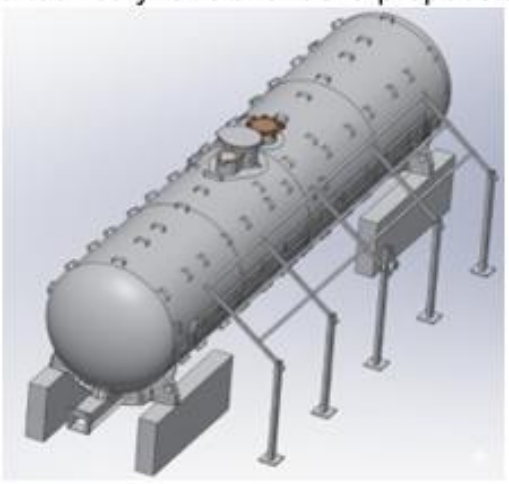


Ilustración 31. Resultado de dibujo en 3D del carro tanque e implementación

De igual forma, en las siguientes imágenes se presenta el modelado en 2D correspondiente a la implementación del sistema de enfriamiento térmico, desarrollado en el software **SolidWorks**. Este modelado permitió representar de manera visual y detallada los componentes principales del sistema, así como su disposición geométrica y funcional dentro del conjunto. La elaboración de este modelo no solo facilita la interpretación del diseño, sino que también contribuye a una comprensión más profunda del proceso de transferencia de calor involucrado, ofreciendo una perspectiva clara sobre cómo se integran los distintos elementos para optimizar el rendimiento térmico del sistema.

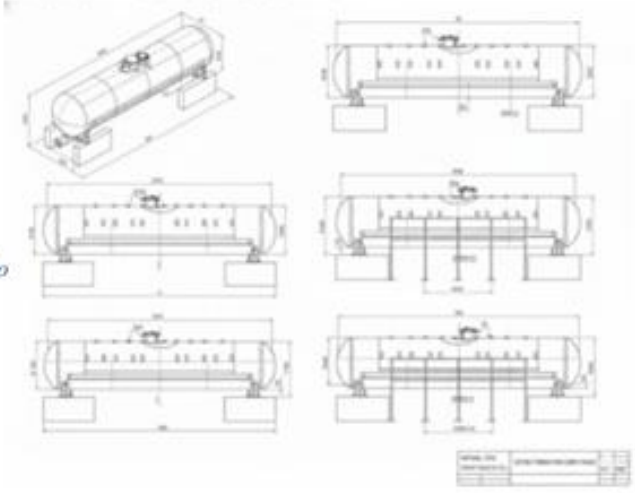


Ilustración 32.Resultado del modelado en 2D

Elaboración de diagrama de flujo

Asimismo, se presenta el **diagrama de flujo** correspondiente a las líneas de producción, en el cual se describe la secuencia de operaciones desde la **primera actividad realizada en la línea 1 de armado** hasta la **última operación efectuada en la línea 8**. Este diagrama permite visualizar de manera estructurada el orden y la relación entre cada una de las etapas que conforman el proceso productivo. Cabe señalar que también se incluye la estación **Plasma City**, la cual, aunque no participa directamente en la secuencia principal de armado, se considera dentro del esquema debido a que cumple una función complementaria y aporta valor al flujo general de operaciones. La inclusión de este diagrama tiene como propósito brindar una comprensión más clara y global del proceso, facilitando la identificación de las interacciones entre líneas y proporcionando una mejor percepción del funcionamiento integral del sistema de armado.



Ilustración 33.Diagrama de flujo de operaciones

A continuación, se presenta el **desglose del diagrama de flujo completo**, en el cual se muestran de manera detallada las operaciones que intervienen en el proceso, incluyendo las etapas de **Equipamiento y Enfriamiento**, así como la **Prueba Hidrostática**. Este desglose permite visualizar con mayor precisión la secuencia y la interacción entre las diferentes fases del proceso, facilitando una mejor comprensión de las actividades involucradas y del flujo general de trabajo dentro del área de producción.

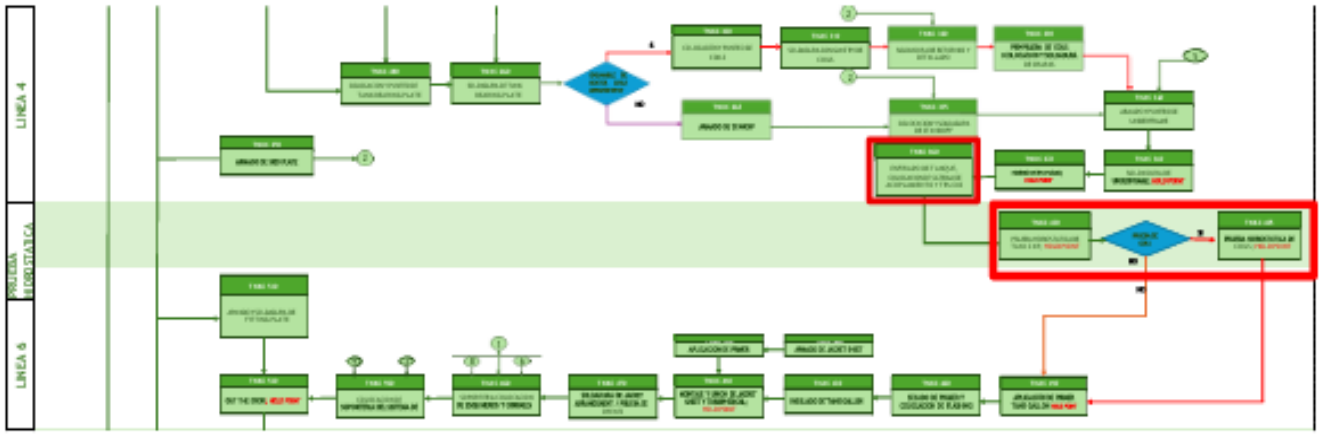


Ilustración 34. Ejemplo de diagrama de flujo de áreas involucradas

A continuación, se presenta el diagrama de flujo correspondiente a las operaciones que se llevan a cabo dentro de la **Prueba Hidrostática**, en la cual se realiza la **extracción de los tubos del carro tanque**. La elaboración de este diagrama resultó factible debido a que permite **obtener un mejor conocimiento y comprensión de las actividades realizadas en la estación**, facilitando la interpretación del proceso y su contribución dentro del flujo general de operaciones.

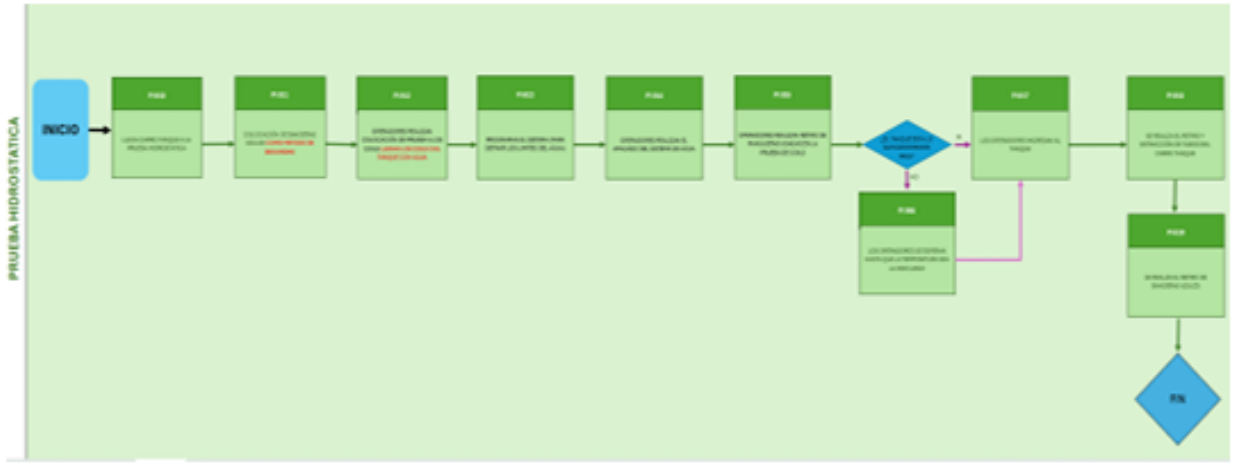


Ilustración 35.Resultado del diagrama de flujo de prueba hidrostática

De igual forma, se presenta el diagrama de flujo correspondiente a las operaciones realizadas en la etapa de Equipamiento y Enfriamiento, con el objetivo de facilitar una comprensión más clara y detallada de las actividades llevadas a cabo dentro de esta operación.

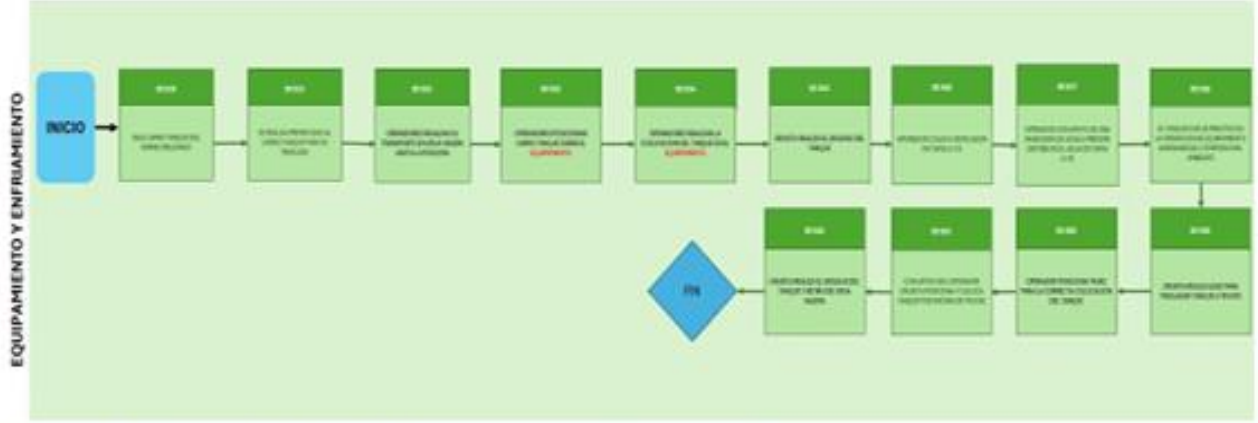


Ilustración 36.Resultado del diagrama de flujo de enfriamiento y equipamiento

Elaboración de diagrama VSM (State Value Sream).

Para comprender de manera integral el flujo de valor de las operaciones dentro del área de **Equipamiento y Enfriamiento**, se procedió a elaborar un **Value Stream Map (VSM)**. Esta herramienta permitió visualizar de forma clara y sistemática cada una de las etapas que conforman el proceso, identificando tanto las actividades que agregan valor como aquellas que generan esperas, retrabajos o movimientos innecesarios. Gracias a este mapeo, se obtuvo una representación gráfica detallada que evidencia la secuencia de operaciones, los tiempos de ciclo, los puntos de control y las interacciones entre los recursos involucrados, proporcionando así un panorama completo de la dinámica y desempeño del proceso de equipamiento y enfriamiento.

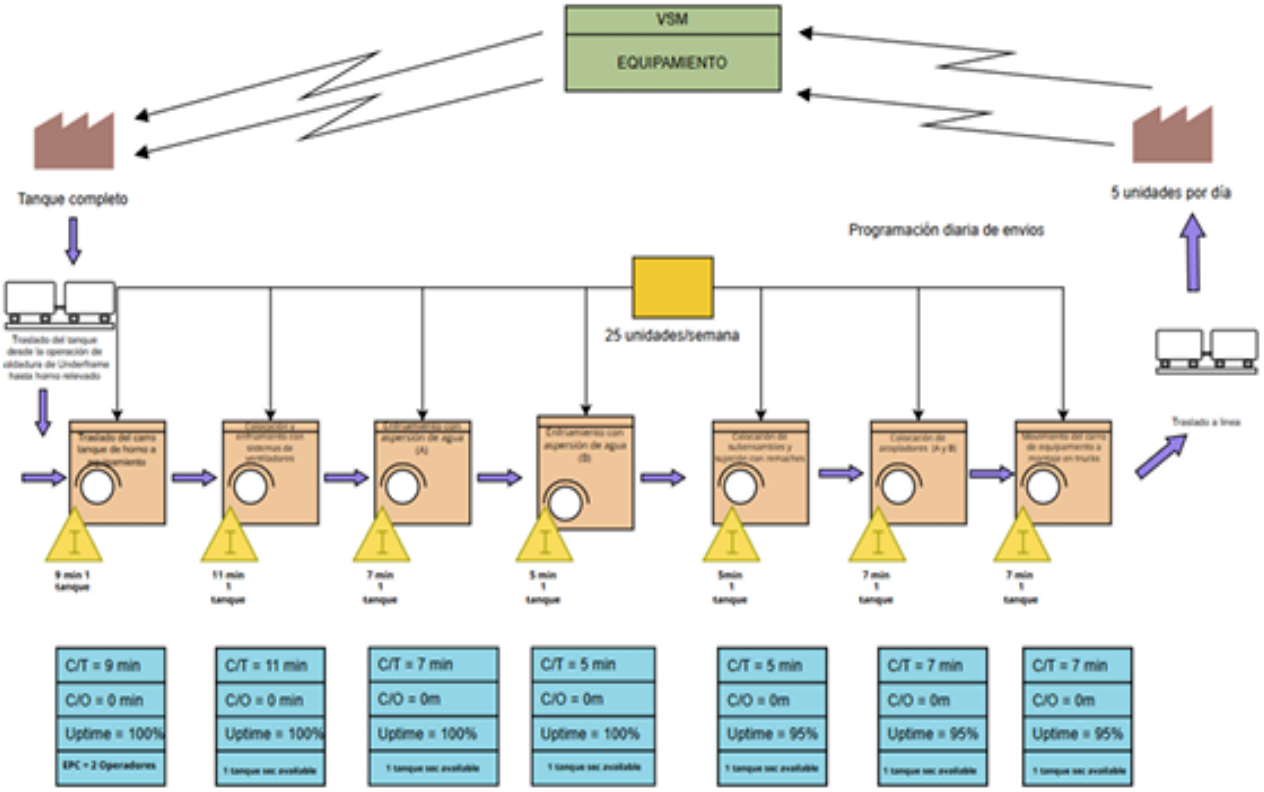


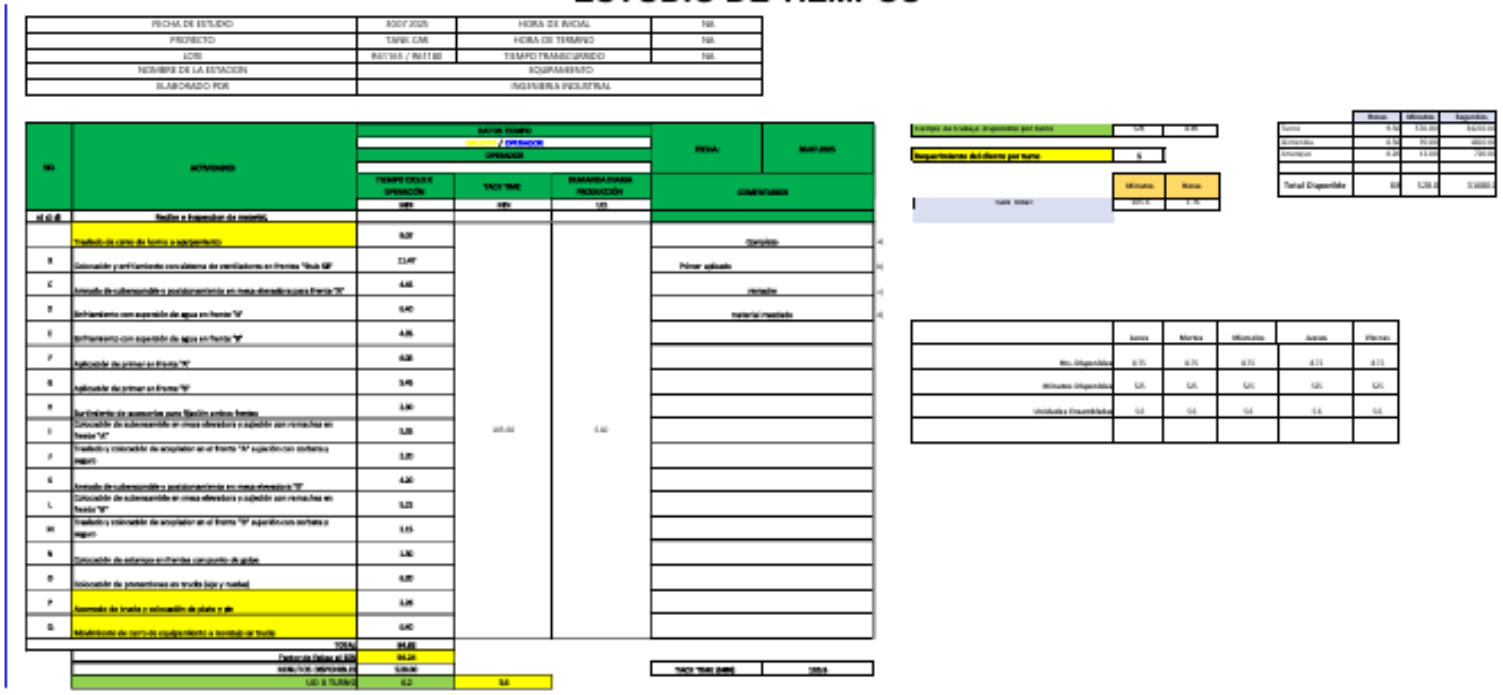
Ilustración 37. Resultado de (VSM) del equipamiento y enfriamiento

Elaboración de la toma de tiempos y movimientos y monitoreo térmico

Los datos presentados a continuación corresponden a los **resultados obtenidos del estudio de tiempos**, en el cual se analizaron detalladamente las operaciones involucradas en la operación de Equipamiento y Enfriamiento. Durante este análisis se identificó que el **cuello de botella principal** del proceso corresponde al tiempo de espera necesario para que el **carro tanque alcance la temperatura adecuada**, lo cual condiciona directamente la entrada de los operadores y el avance de las siguientes etapas.

Se muestran los datos recopilados con el objetivo de proporcionar una visión clara y cuantificada del desempeño de cada operación, permitiendo así una mejor comprensión de los tiempos de ciclo, las esperas y los puntos críticos que afectan la eficiencia global del proceso. Esta información constituye la base para posteriores análisis y propuestas de mejora, al evidenciar de manera objetiva las fases que requieren optimización y control más riguroso dentro de la estación de trabajo.

ESTUDIO DE TIEMPOS



FECHA DE ESTUDIO	8/07/2025	HORA DE INICIAL	Nil.
PROYECTO	TANK CAR	HORA DE TERMINO	Nil.
EDS	RIETMA / RIETBB	TIEMPO TRANSCURRIDO	Nil.
NOMBRE DE LA ESTACION	EQUIPAMIENTO		
ELABORADO POR	INGENIERIA INDUSTRIAL		

NO.	ACTIVIDADES	DATOS OBSERVADOS / OPERACIÓN / OPERADOR		FECHA:	HORA:
		TIEMPO CICLO E OPERACIÓN	TACK TIME	DIAMANDA DIARIA PRODUCCIÓN	COMENTARIOS
		MIN	MIN	UD.	
a) c) d)	Recibe e inspeccion de material				
	Traslado de carro de torno a equipamiento	0.07			Completo
B	Colocación y enfriamiento con sistema de ventiladores en fresnos "Hook GB"	11.47			Primer salcado
C	Armado de cubresoldadura y posicionamiento en mesa elevadora para fresno "A"	4.45			remache
D	Enfriamiento con aspersión de agua en fresno "A"	0.40			material montado
E	Enfriamiento con aspersión de agua en fresno "B"	4.05			
F	Aplicación de primer en fresno "A"	4.08			
G	Aplicación de primer en fresno "B"	3.45			
H	Suministro de accesorios para fijación antes fresno	3.00			
I	Colocación de cubresoldadura en mesa elevadora y sujeción con remaches en fresno "A"	5.35	10.00	1.60	
J	Traslado y colocación de aceptador en el fresno "A" sujeción con cerbatana y seguro	3.05			
K	Armado de cubresoldadura y posicionamiento en mesa elevadora "B"	4.20			
L	Colocación de cubresoldadura en mesa elevadora y sujeción con remaches en fresno "B"	5.23			
M	Traslado y colocación de aceptador en el fresno "B" sujeción con cerbatana y seguro	3.15			
N	Colocación de estampas en fresnos conjunto de golas	1.50			
O	Colocación de presentinos en trucks (eje y rueda)	0.37			
P	Asentado de trucks y colocación de pista y de	3.35			
Q	Mantenimiento de carro de equipamiento y montaje de trucks	0.40			
	TOTAL	84.65			
	Factor de Ritmo al 85%	84.24			
	HORA/HOMBRE/DIA	5.26.00			
	UD X TURNO	6.2	9.6		TACK TIME (MIN) 100.0

Tiempo de trabajo disponible por turno	5.26	315.60
Requerimiento del cliente por turno	5	

	Minutos	Horas
Tiempo Total	315.6	5.26

	Horas	Minutos	Segundos
Turno	8.00	480.00	28800.00
Refrigerio	0.50	30.00	1800.00
Almuerzo	0.49	29.40	1764.00
Total Disponible	8.0	420.6	25236.0

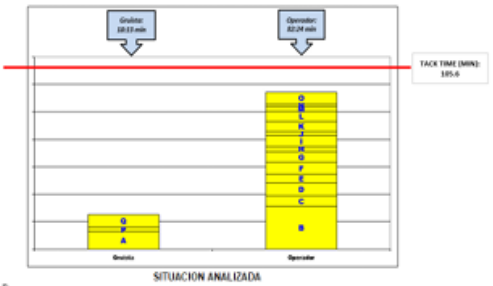
	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes
Hrs. Disponibles	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75
Minutos Disponibles	525	525	525	525	525
Unidades a Ensamblar	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6

Ilustración 38.Resultado del estudio de tiempos en equipamiento y enfriamiento

Tablero Yamazumi

TABLERO YAMAZUMI

ÁREA:	**Metálico**	**ESTACIÓN:**	**Equipamiento**
No. PARTE:	**R61165 / R61180**	**FECHA:**	**20/09/2025**



SITUACION ANALIZADA

140.37 s. n.

Tpo Total	ACTIVIDADES		SECUENCIA DE OPERACIONES	
0:18:13	Gruista (A)	A	Traslado de carro de horno a equipamiento	0:09:07
		P	Acomodo de trucks y colocación de plato y pin	0:02:26
		Q	Movimiento de carro de equipamiento a montaje en trucks	0:06:40
1:22:24	Operador (B)	B	Colocación y enfriamiento con sistema de ventiladores en frentes "Stub Sill"	0:22:22
		C	Armado de subensamble y posicionamiento en mesa elevadora para frente "A"	0:05:45
		D	Enfriamiento con aspersión de agua en frente "A"	0:06:40
		E	Enfriamiento con aspersión de agua en frente "B"	0:04:35
		F	Aplicación de primer en frente "A"	0:06:05
		G	Aplicación de primer en frente "B"	0:05:45
		H	Surtimiento de accesorios para fijación ambos frentes	0:02:30
		I	Colocación de subensamble en mesa elevadora y sujeción con remaches en frente "A"	0:05:35
		J	Traslado y colocación de acoplador en el frente "A" sujeción con corbata y seguro	0:02:20
		K	Armado de subensamble y posicionamiento en mesa elevadora "B"	0:05:20
		L	Colocación de subensamble en mesa elevadora y sujeción con remaches en frente "B"	0:05:22
		M	Traslado y colocación de acoplador en el frente "B" sujeción con corbata y seguro	0:02:15
		N	Colocación de estampa en frentes con punto de golpe	0:01:30
		O	Colocación de protecciones en trucks (eje y ruedas)	0:06:20

Ilustración 39. Resultado de yamazumi

Registro de temperaturas del muestreo del proceso

REGISTRO DE TEMPERATURAS DEL MUESTREO DEL PROCESO (DIA 1)											
Fecha	Operación	Horno	Tanque	Lote	Hora	Actividad	Sur (°C)	Centro (°C)	Norte (°C)	Superior Ext. (°C)	Interior (°C)
10/09/2025	1	Horno 2	89	180	10:05	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
10/09/2025	2	Horno 2	89	180	10:10	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
10/09/2025	3	Horno 2	89	180	10:15	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	4	Horno 2	89	180	10:15	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	5	Horno 2	89	180	10:20	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
10/09/2025	6	Horno 2	89	180	10:25	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
10/09/2025	7	Horno 2	89	180	10:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
10/09/2025	8	Horno 2	89	180	10:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
10/09/2025	9	Horno 2	89	180	10:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
10/09/2025	10	Horno 2	89	180	10:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
10/09/2025	11	Horno 2	89	180	11:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
10/09/2025	12	Horno 2	89	180	11:05	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
10/09/2025	13	Horno 2	89	180	11:15	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
10/09/2025	14	Horno 2	89	180	11:20	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
10/09/2025	15	Horno 2	89	180	11:25	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
10/09/2025	16	Horno 2	89	180	11:30	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
10/09/2025	17	Horno 2	89	180	11:40	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
10/09/2025	18	Horno 2	89	180	11:45	Llegada a prueba hidrostatica	76.4	75.6	69.9	80.6	75.1
10/09/2025	19	Horno 2	89	180	11:50	Colocación sistema enfriamiento	72	70.5	68.2	79	73
10/09/2025	20	Horno 2	89	180	11:55	Fin de colocación sistema	70	68.2	65.5	77.5	71
10/09/2025	21	Horno 2	89	180	12:00	Tratamiento térmico	70.2	52.7	60.3	78	70
10/09/2025	22	Horno 2	89	180	12:05	Tratamiento térmico	69.7	48.5	58.6	75.6	65.6
10/09/2025	24	Horno 2	89	180	12:10	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
10/09/2025	25	Horno 2	89	180	12:15	Tratamiento térmico	33	35	34	62	33.5
10/09/2025	26	Horno 2	89	180	12:20	Tratamiento térmico	31	32.5	30.5	58	32.8
10/09/2025	27	Horno 2	89	180	12:25	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
10/09/2025	28	Horno 2	89	180	12:30	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
10/09/2025	29	Horno 2	89	180	12:35	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
10/09/2025	1	Horno 1	182	165	12:40	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
10/09/2025	2	Horno 1	182	165	12:45	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
10/09/2025	3	Horno 1	182	165	12:50	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	4	Horno 1	182	165	12:55	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	5	Horno 1	182	165	13:00:00	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
10/09/2025	6	Horno 1	182	165	13:05	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
10/09/2025	7	Horno 1	182	165	13:10	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
10/09/2025	8	Horno 1	182	165	13:15	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
10/09/2025	9	Horno 1	182	165	13:20:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
10/09/2025	10	Horno 1	182	165	13:25	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
10/09/2025	11	Horno 1	182	165	13:30	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
10/09/2025	12	Horno 1	182	165	13:35	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
10/09/2025	15	Horno 1	182	165	13:50	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
10/09/2025	16	Horno 1	182	165	13:55	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
10/09/2025	17	Horno 1	182	165	14:00	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
10/09/2025	18	Horno 1	182	165	14:05:00	Llegada a prueba hidrostatica	76.4	75.6	69.9	80.6	75.1
10/09/2025	19	Horno 1	182	165	14:10:00	Colocación sistema enfriamiento	74	72.5	68	78	73
10/09/2025	20	Horno 1	182	165	14:15	Fin de colocación sistema	72	70	66	76	71
10/09/2025	21	Horno 1	182	165	14:20	Tratamiento térmico	70.2	52.7	60.3	78	70
10/09/2025	22	Horno 1	182	165	14:25	Tratamiento térmico	69.7	48.5	58.6	75.6	65.6
10/09/2025	23	Horno 1	182	165	14:30:00	Tratamiento térmico	58.2	47	55.5	71.5	50.1
10/09/2025	24	Horno 1	182	165	14:35:00	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
10/09/2025	25	Horno 1	182	165	14:40:00	Tratamiento térmico	33.5	40	38.2	62	34
10/09/2025	26	Horno 1	182	165	14:45	Tratamiento térmico	31.5	36	34.5	60	33.5
10/09/2025	27	Horno 1	182	165	14:50	Tratamiento térmico	30.6	33.1	31.1	59.4	33.3
10/09/2025	28	Horno 1	182	165	14:55	Tratamiento térmico	29.8	30.5	29	56	33
10/09/2025	29	Horno 1	182	165	15:00:00	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
10/09/2025	30	Horno 1	182	165	15:05:00	Tratamiento térmico	27.9	24	26	45	33
10/09/2025	31	Horno 1	182	165	15:10:00	Tratamiento térmico	27.8	23	25	40	32.9
10/09/2025	32	Horno 1	182	165	15:15	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
10/09/2025	33	Horno 1	182	165	15:20	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
10/09/2025	1	Horno 2	90	180	15:25	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
10/09/2025	2	Horno 2	90	180	15:30:00	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
10/09/2025	3	Horno 2	90	180	15:35:00	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	4	Horno 2	90	180	15:40:00	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	5	Horno 2	90	180	15:45	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		

10/09/2025	6	Horno 2	90	180	15:50	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
10/09/2025	7	Horno 2	90	180	15:55	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
10/09/2025	8	Horno 2	90	180	16:00:00	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
10/09/2025	9	Horno 2	90	180	16:05:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
10/09/2025	10	Horno 2	90	180	16:10	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
10/09/2025	11	Horno 2	90	180	16:15	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
10/09/2025	12	Horno 2	90	180	16:20	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
10/09/2025	13	Horno 2	90	180	16:25:00	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
10/09/2025	14	Horno 2	90	180	16:30:00	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
10/09/2025	15	Horno 2	90	180	16:35	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
10/09/2025	16	Horno 2	90	180	16:40	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
10/09/2025	17	Horno 2	90	180	16:45	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
10/09/2025	18	Horno 2	90	180	16:50:00	Llegada a prueba hidrostatica	71.2	74.6	69	92.4	87.1
10/09/2025	19	Horno 2	90	180	16:55:00	Colocación sistema enfriamiento	66.4	70.2	64.8	87.6	84
10/09/2025	20	Horno 2	90	180	17:00	Fin de colocación sistema	61.9	65.8	60.3	84	81.2
10/09/2025	21	Horno 2	90	180	17:05	Tratamiento térmico	57.2	61.1	55.5	80.2	77.5
10/09/2025	22	Horno 2	90	180	17:10	Tratamiento térmico	52.6	56.4	51	76	73.1
10/09/2025	23	Horno 2	90	180	17:15:00	Tratamiento térmico	48.9	52.2	47.5	71.5	69.4
10/09/2025	24	Horno 2	90	180	17:20:00	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
10/09/2025	25	Horno 2	90	180	17:25	Tratamiento térmico	41	44.2	40.2	631	60.7
10/09/2025	26	Horno 2	90	180	17:30	Tratamiento térmico	37.8	41.1	37	59.4	57
10/09/2025	27	Horno 2	90	180	17:35	Tratamiento térmico	34.2	37.4	33.5	56	54.1
10/09/2025	28	Horno 2	90	180	17:40	Tratamiento térmico	31.4	34	30.6	52.1	50.6
10/09/2025	29	Horno 2	90	180	17:45	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
10/09/2025	30	Horno 2	90	180	17:50	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
10/09/2025	31	Horno 2	90	180	17:55	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
10/09/2025	32	Horno 2	90	180	18:00	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
10/09/2025	33	Horno 2	90	180	18:05	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5
10/09/2025	1	Horno 1	173	165	18:10	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
10/09/2025	2	Horno 1	173	165	18:15	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
10/09/2025	3	Horno 1	173	165	18:20	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	4	Horno 1	173	165	18:25	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
10/09/2025	5	Horno 1	173	165	18:30	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
10/09/2025	6	Horno 1	173	165	18:35	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
10/09/2025	7	Horno 1	173	165	18:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
10/09/2025	8	Horno 1	173	165	18:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
10/09/2025	9	Horno 1	173	165	18:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
10/09/2025	10	Horno 1	173	165	18:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
10/09/2025	11	Horno 1	173	165	19:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
10/09/2025	12	Horno 1	173	165	19:05	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
10/09/2025	13	Horno 1	173	165	19:10	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
10/09/2025	14	Horno 1	173	165	19:15	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
10/09/2025	15	Horno 1	173	165	19:20	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
10/09/2025	16	Horno 1	173	165	19:25	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
10/09/2025	17	Horno 1	173	165	19:30	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
10/09/2025	18	Horno 1	173	165	19:35	Llegada a prueba hidrostatica	71.2	74.6	69	92.4	87.1
10/09/2025	19	Horno 1	173	165	19:40	Colocación sistema enfriamiento	66.4	70.2	64.8	87.6	84
10/09/2025	20	Horno 1	173	165	19:45	Fin de colocación sistema	61.9	65.8	60.3	84	81.2
10/09/2025	21	Horno 1	173	165	19:50	Tratamiento térmico	57.2	61.1	55.5	80.2	77.5
10/09/2025	22	Horno 1	173	165	19:55	Tratamiento térmico	52.6	56.4	51	76	73.1
10/09/2025	23	Horno 1	173	165	20:00	Tratamiento térmico	48.9	52.2	47.5	71.5	69.4
10/09/2025	24	Horno 1	173	165	20:05	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
10/09/2025	24	Horno 1	173	165	20:05	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
10/09/2025	25	Horno 1	173	165	20:10	Tratamiento térmico	41	44.2	40.2	631	60.7
10/09/2025	26	Horno 1	173	165	20:15	Tratamiento térmico	37.8	41.1	37	59.4	57
10/09/2025	27	Horno 1	173	165	20:20	Tratamiento térmico	34.2	37.4	33.5	56	54.1
10/09/2025	28	Horno 1	173	165	20:25	Tratamiento térmico	31.4	34	30.6	52.1	50.6
10/09/2025	29	Horno 1	173	165	20:30	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
10/09/2025	30	Horno 1	173	165	20:35	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
10/09/2025	31	Horno 1	173	165	20:40	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
10/09/2025	32	Horno 1	173	165	20:45	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
10/09/2025	33	Horno 1	173	165	20:50	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5

REGISTRO DE TEMPERATURAS DEL MUESTREO DEL PROCESO (DIA 2)											
Fecha	Operación	Horno	Tanque	Lote	Hora	Actividad	Sur (°C)	Centro (°C	Norte (°C)	Superior Ext. (°C)	Interior (°C)
12/09/2025	1	Horno 2	89	180	10:05	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
12/09/2025	2	Horno 2	89	180	10:10	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
12/09/2025	3	Horno 2	89	180	10:15	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	4	Horno 2	89	180	10:15	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	5	Horno 2	89	180	10:20	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
12/09/2025	6	Horno 2	89	180	10:25	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
12/09/2025	7	Horno 2	89	180	10:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
12/09/2025	8	Horno 2	89	180	10:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
12/09/2025	9	Horno 2	89	180	10:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
12/09/2025	10	Horno 2	89	180	10:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
12/09/2025	11	Horno 2	89	180	11:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
12/09/2025	12	Horno 2	89	180	11:05	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
12/09/2025	13	Horno 2	89	180	11:15	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
12/09/2025	14	Horno 2	89	180	11:20	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
12/09/2025	15	Horno 2	89	180	11:25	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
12/09/2025	16	Horno 2	89	180	11:30	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
12/09/2025	17	Horno 2	89	180	11:40	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
12/09/2025	18	Horno 2	89	180	11:45	Llegada a prueba hidrostatica	76.4	75.6	69.9	80.6	75.1
12/09/2025	19	Horno 2	89	180	11:50	Colocación sistema enfriamiento	72	70.5	68.2	79	73
12/09/2025	20	Horno 2	89	180	11:55	Fin de colocación sistema	70	68.2	65.5	77.5	71
12/09/2025	21	Horno 2	89	180	12:00	Tratamiento térmico	70.2	52.7	60.3	78	70
12/09/2025	22	Horno 2	89	180	12:05	Tratamiento térmico	69.7	48.5	58.6	75.6	65.6
12/09/2025	23	Horno 2	89	180	12:08	Tratamiento térmico	48.6	46.7	58.6	67.9	35.2
12/09/2025	24	Horno 2	89	180	12:10	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
12/09/2025	25	Horno 2	89	180	12:15	Tratamiento térmico	33	35	34	62	33.5
12/09/2025	26	Horno 2	89	180	12:20	Tratamiento térmico	31	32.5	30.5	58	32.8
12/09/2025	27	Horno 2	89	180	12:25	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
12/09/2025	28	Horno 2	89	180	12:30	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
12/09/2025	29	Horno 2	89	180	12:35	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
12/09/2025	1	Horno 1	182	165	12:40	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
12/09/2025	2	Horno 1	182	165	12:45	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
12/09/2025	3	Horno 1	182	165	12:50	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	4	Horno 1	182	165	12:55	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	5	Horno 1	182	165	13:00:00	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
12/09/2025	6	Horno 1	182	165	13:05	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
12/09/2025	7	Horno 1	182	165	13:10	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
12/09/2025	8	Horno 1	182	165	13:15	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
12/09/2025	9	Horno 1	182	165	13:20:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
12/09/2025	10	Horno 1	182	165	13:25	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
12/09/2025	11	Horno 1	182	165	13:30	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
12/09/2025	12	Horno 1	182	165	13:35	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
12/09/2025	13	Horno 1	182	165	13:40:00	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
12/09/2025	14	Horno 1	182	165	13:45:00	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
12/09/2025	15	Horno 1	182	165	13:50	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
12/09/2025	16	Horno 1	182	165	13:55	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
12/09/2025	17	Horno 1	182	165	14:00	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
12/09/2025	18	Horno 1	182	165	14:05:00	Llegada a prueba hidrostatica	76.4	75.6	69.9	80.6	75.1
12/09/2025	19	Horno 1	182	165	14:10:00	Colocación sistema enfriamiento	74	72.5	68	78	73
12/09/2025	20	Horno 1	182	165	14:15	Fin de colocación sistema	72	70	66	76	71
12/09/2025	21	Horno 1	182	165	14:20	Tratamiento térmico	70.2	52.7	60.3	78	70
12/09/2025	22	Horno 1	182	165	14:25	Tratamiento térmico	69.7	48.5	58.6	75.6	65.6
12/09/2025	23	Horno 1	182	165	14:30:00	Tratamiento térmico	58.2	47	55.5	71.5	50.1

12/09/2025	24	Horno 1	182	165	14:35:00	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
12/09/2025	25	Horno 1	182	165	14:40:00	Tratamiento térmico	33.5	40	38.2	62	34
12/09/2025	26	Horno 1	182	165	14:45	Tratamiento térmico	31.5	36	34.5	60	33.5
12/09/2025	27	Horno 1	182	165	14:50	Tratamiento térmico	30.6	33.1	31.1	59.4	33.3
12/09/2025	28	Horno 1	182	165	14:55	Tratamiento térmico	29.8	30.5	29	56	33
12/09/2025	29	Horno 1	182	165	15:00:00	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
12/09/2025	30	Horno 1	182	165	15:05:00	Tratamiento térmico	27.9	24	26	45	33
12/09/2025	31	Horno 1	182	165	15:10:00	Tratamiento térmico	27.8	23	25	40	32.9
12/09/2025	32	Horno 1	182	165	15:15	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
12/09/2025	33	Horno 1	182	165	15:20	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
12/09/2025	1	Horno 2	90	180	15:25	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
12/09/2025	2	Horno 2	90	180	15:30:00	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
12/09/2025	3	Horno 2	90	180	15:35:00	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	4	Horno 2	90	180	15:40:00	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	5	Horno 2	90	180	15:45	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
12/09/2025	6	Horno 2	90	180	15:50	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
12/09/2025	7	Horno 2	90	180	15:55	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
12/09/2025	8	Horno 2	90	180	16:00:00	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
12/09/2025	9	Horno 2	90	180	16:05:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
12/09/2025	10	Horno 2	90	180	16:10	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
12/09/2025	11	Horno 2	90	180	16:15	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
12/09/2025	12	Horno 2	90	180	16:20	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
12/09/2025	13	Horno 2	90	180	16:25:00	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
12/09/2025	14	Horno 2	90	180	16:30:00	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
12/09/2025	15	Horno 2	90	180	16:35	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
12/09/2025	16	Horno 2	90	180	16:40	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
12/09/2025	17	Horno 2	90	180	16:45	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
12/09/2025	18	Horno 2	90	180	16:50:00	Llegada a prueba hidrostatica	71.2	74.6	69	92.4	87.1
12/09/2025	19	Horno 2	90	180	16:55:00	Colocación sistema enfriamiento	66.4	70.2	64.8	87.6	84
12/09/2025	20	Horno 2	90	180	17:00	Fin de colocación sistema	61.9	65.8	60.3	84	81.2
12/09/2025	21	Horno 2	90	180	17:05	Tratamiento térmico	57.2	61.1	55.5	80.2	77.5
12/09/2025	22	Horno 2	90	180	17:10	Tratamiento térmico	52.6	56.4	51	76	73.1
12/09/2025	23	Horno 2	90	180	17:15:00	Tratamiento térmico	48.9	52.2	47.5	71.5	69.4
12/09/2025	24	Horno 2	90	180	17:20:00	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
12/09/2025	25	Horno 2	90	180	17:25	Tratamiento térmico	41	44.2	40.2	631	60.7
12/09/2025	26	Horno 2	90	180	17:30	Tratamiento térmico	37.8	41.1	37	59.4	57
12/09/2025	27	Horno 2	90	180	17:35	Tratamiento térmico	34.2	37.4	33.5	56	54.1
12/09/2025	28	Horno 2	90	180	17:40	Tratamiento térmico	31.4	34	30.6	52.1	50.6
12/09/2025	29	Horno 2	90	180	17:45	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
12/09/2025	30	Horno 2	90	180	17:50	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
12/09/2025	31	Horno 2	90	180	17:55	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
12/09/2025	32	Horno 2	90	180	18:00	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
12/09/2025	33	Horno 2	90	180	18:05	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5
12/09/2025	1	Horno 1	173	165	18:10	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
12/09/2025	2	Horno 1	173	165	18:15	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
12/09/2025	3	Horno 1	173	165	18:20	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	4	Horno 1	173	165	18:25	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
12/09/2025	5	Horno 1	173	165	18:30	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
12/09/2025	6	Horno 1	173	165	18:35	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
12/09/2025	7	Horno 1	173	165	18:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
12/09/2025	8	Horno 1	173	165	18:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
12/09/2025	9	Horno 1	173	165	18:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
12/09/2025	10	Horno 1	173	165	18:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
12/09/2025	11	Horno 1	173	165	19:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
12/09/2025	12	Horno 1	173	165	19:05	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		

12/09/2025	13	Horno 1	173	165	19:10	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
12/09/2025	14	Horno 1	173	165	19:15	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
12/09/2025	15	Horno 1	173	165	19:20	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
12/09/2025	16	Horno 1	173	165	19:25	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
12/09/2025	17	Horno 1	173	165	19:30	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
12/09/2025	18	Horno 1	173	165	19:35	Llegada a prueba hidrostatica	71.2	74.6	69	92.4	87.1
12/09/2025	19	Horno 1	173	165	19:40	Colocación sistema enfriamiento	66.4	70.2	64.8	87.6	84
12/09/2025	20	Horno 1	173	165	19:45	Fin de colocación sistema	61.9	65.8	60.3	84	81.2
12/09/2025	21	Horno 1	173	165	19:50	Tratamiento térmico	57.2	61.1	55.5	80.2	77.5
12/09/2025	22	Horno 1	173	165	19:55	Tratamiento térmico	52.6	56.4	51	76	73.1
12/09/2025	23	Horno 1	173	165	20:00	Tratamiento térmico	48.9	52.2	47.5	71.5	69.4
12/09/2025	24	Horno 1	173	165	20:05	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
12/09/2025	25	Horno 1	173	165	20:10	Tratamiento térmico	41	44.2	40.2	631	60.7
12/09/2025	26	Horno 1	173	165	20:15	Tratamiento térmico	37.8	41.1	37	59.4	57
12/09/2025	27	Horno 1	173	165	20:20	Tratamiento térmico	34.2	37.4	33.5	56	54.1
12/09/2025	28	Horno 1	173	165	20:25	Tratamiento térmico	31.4	34	30.6	52.1	50.6
12/09/2025	29	Horno 1	173	165	20:30	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
12/09/2025	30	Horno 1	173	165	20:35	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
12/09/2025	31	Horno 1	173	165	20:40	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
12/09/2025	32	Horno 1	173	165	20:45	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
12/09/2025	33	Horno 1	173	165	20:50	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5

REGISTRO DE TEMPERATURAS DEL MUESTREO DEL PROCESO (DIA 3)

Fecha	Operación	Horno	Tanque	Lote	Hora	Actividad	Sur (°C)	Centro (°C)	Norte (°C)	Superior Ext. (°C)	Interior (°C)
17/09/2025	1	Horno 1	183	165	10:05	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
17/09/2025	2	Horno 1	183	165	10:10	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
17/09/2025	3	Horno 1	183	165	10:15	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	4	Horno 1	183	165	10:15	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	5	Horno 1	183	165	10:20	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
17/09/2025	6	Horno 1	183	165	10:25	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
17/09/2025	7	Horno 1	183	165	10:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
17/09/2025	8	Horno 1	183	165	10:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
17/09/2025	9	Horno 1	183	165	10:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
17/09/2025	10	Horno 1	183	165	10:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
17/09/2025	11	Horno 1	183	165	11:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
17/09/2025	23	Horno 1	183	165	12:08	Tratamiento térmico	58.2	47	55.5	71.5	50.1
17/09/2025	24	Horno 1	183	165	12:10	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
17/09/2025	25	Horno 1	183	165	12:15	Tratamiento térmico	33.5	40	38.2	62	34
17/09/2025	26	Horno 1	183	165	12:20	Tratamiento térmico	31.5	36	34.5	60	33.5
17/09/2025	27	Horno 1	183	165	12:25	Tratamiento térmico	30.6	33.1	31.1	59.4	33.3
17/09/2025	28	Horno 1	183	165	12:30	Tratamiento térmico	29.8	30.5	29	56	33
17/09/2025	29	Horno 1	183	165	12:35	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
17/09/2025	30	Horno 1	183	165	12:40	Tratamiento térmico	27.9	24	26	45	33
17/09/2025	31	Horno 1	183	165	12:45	Tratamiento térmico	27.8	23	25	40	32.9
17/09/2025	32	Horno 1	183	165	12:50	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
17/09/2025	33	Horno 1	183	165	12:55	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
17/09/2025	1	Horno 2	184	165	13:00:00	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
17/09/2025	2	Horno 2	184	165	13:05	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
17/09/2025	3	Horno 2	184	165	13:10	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	4	Horno 2	184	165	13:15	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	5	Horno 2	184	165	13:20:00	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
17/09/2025	6	Horno 2	184	165	13:25	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		

17/09/2025	7	Horno 2	184	165	13:30	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
17/09/2025	8	Horno 2	184	165	13:35	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
17/09/2025	9	Horno 2	184	165	13:40:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
17/09/2025	10	Horno 2	184	165	13:45:00	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
17/09/2025	11	Horno 2	184	165	13:50	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
17/09/2025	12	Horno 2	184	165	13:55	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
17/09/2025	13	Horno 2	184	165	14:00	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
17/09/2025	14	Horno 2	184	165	14:05:00	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
17/09/2025	15	Horno 2	184	165	14:10:00	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
17/09/2025	16	Horno 2	184	165	14:15	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
17/09/2025	17	Horno 2	184	165	14:20	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
17/09/2025	18	Horno 2	184	165	14:25	Llegada a prueba hidrostatica	76.4	75.6	69.9	80.6	75.1
17/09/2025	19	Horno 2	184	165	14:30:00	Colocación sistema enfriamiento	72	70.5	68.2	79	73
17/09/2025	20	Horno 2	184	165	14:35:00	Fin de colocación sistema	70	68.2	65.5	77.5	71
17/09/2025	21	Horno 2	184	165	14:40:00	Tratamiento térmico	70.2	52.7	60.3	78	70
17/09/2025	22	Horno 2	184	165	14:45	Tratamiento térmico	69.7	48.5	58.6	75.6	65.6
17/09/2025	23	Horno 2	184	165	14:50	Tratamiento térmico	48.6	46.7	58.6	67.9	35.2
17/09/2025	24	Horno 2	184	165	14:55	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
17/09/2025	25	Horno 2	184	165	15:00:00	Tratamiento térmico	33	35	34	62	33.5
17/09/2025	26	Horno 2	184	165	15:05:00	Tratamiento térmico	31	32.5	30.5	58	32.8
17/09/2025	27	Horno 2	184	165	15:10:00	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
17/09/2025	28	Horno 2	184	165	15:15	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
17/09/2025	29	Horno 2	184	165	15:20	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
17/09/2025	1	Horno 1	87	180	15:25	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
17/09/2025	2	Horno 1	87	180	15:30:00	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
17/09/2025	3	Horno 1	87	180	15:35:00	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	4	Horno 1	87	180	15:40:00	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	5	Horno 1	87	180	15:45	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
17/09/2025	6	Horno 1	87	180	15:50	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
17/09/2025	7	Horno 1	87	180	15:55	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
17/09/2025	8	Horno 1	87	180	16:00:00	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
17/09/2025	9	Horno 1	87	180	16:05:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
17/09/2025	10	Horno 1	87	180	16:10	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
17/09/2025	11	Horno 1	87	180	16:15	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
17/09/2025	12	Horno 1	87	180	16:20	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
17/09/2025	13	Horno 1	87	180	16:25:00	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
17/09/2025	14	Horno 1	87	180	16:30:00	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
17/09/2025	15	Horno 1	87	180	16:35	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
17/09/2025	16	Horno 1	87	180	16:40	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
17/09/2025	17	Horno 1	87	180	16:45	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
17/09/2025	29	Horno 1	87	180	17:45	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
17/09/2025	30	Horno 1	87	180	17:50	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
17/09/2025	31	Horno 1	87	180	17:55	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
17/09/2025	32	Horno 1	87	180	18:00	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
17/09/2025	33	Horno 1	87	180	18:05	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5
17/09/2025	1	Horno 2	185	165	18:10	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
17/09/2025	2	Horno 2	185	165	18:15	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
17/09/2025	3	Horno 2	185	165	18:20	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	4	Horno 2	185	165	18:25	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
17/09/2025	5	Horno 2	185	165	18:30	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
17/09/2025	6	Horno 2	185	165	18:35	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
17/09/2025	7	Horno 2	185	165	18:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
17/09/2025	8	Horno 2	185	165	18:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
17/09/2025	9	Horno 2	185	165	18:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		

17/09/2025	10	Horno 2	185	165	18:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
17/09/2025	11	Horno 2	185	165	19:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
17/09/2025	12	Horno 2	185	165	19:05	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
17/09/2025	13	Horno 2	185	165	19:10	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
17/09/2025	14	Horno 2	185	165	19:15	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
17/09/2025	15	Horno 2	185	165	19:20	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
17/09/2025	16	Horno 2	185	165	19:25	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
17/09/2025	17	Horno 2	185	165	19:30	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
17/09/2025	18	Horno 2	185	165	19:35	Llegada a prueba hidrostatica	71.2	74.6	69	92.4	87.1
17/09/2025	19	Horno 2	185	165	19:40	Colocación sistema enfriamiento	66.4	70.2	64.8	87.6	84
17/09/2025	20	Horno 2	185	165	19:45	Fin de colocación sistema	61.9	65.8	60.3	84	81.2
17/09/2025	21	Horno 2	185	165	19:50	Tratamiento térmico	57.2	61.1	55.5	80.2	77.5
17/09/2025	22	Horno 2	185	165	19:55	Tratamiento térmico	52.6	56.4	51	76	73.1
17/09/2025	23	Horno 2	185	165	20:00	Tratamiento térmico	48.9	52.2	47.5	71.5	69.4
17/09/2025	24	Horno 2	185	165	20:05	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
17/09/2025	25	Horno 2	185	165	20:10	Tratamiento térmico	41	44.2	40.2	631	60.7
17/09/2025	26	Horno 2	185	165	20:15	Tratamiento térmico	37.8	41.1	37	59.4	57
17/09/2025	27	Horno 2	185	165	20:20	Tratamiento térmico	34.2	37.4	33.5	56	54.1
17/09/2025	28	Horno 2	185	165	20:25	Tratamiento térmico	31.4	34	30.6	52.1	50.6
17/09/2025	29	Horno 2	185	165	20:30	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
17/09/2025	30	Horno 2	185	165	20:35	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
17/09/2025	31	Horno 2	185	165	20:40	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
17/09/2025	32	Horno 2	185	165	20:45	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
17/09/2025	33	Horno 2	185	165	20:50	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5

REGISTRO DE TEMPERATURAS DEL MUESTREO DEL PROCESO (DIA 4)

Fecha	Operación	Horno	Tanque	Lote	Hora	Actividad	Sur (°C)	Centro (°C)	Norte (°C)	Superior Ext. (°C)	Interior (°C)
19/09/2025	1	Horno 1	186	165	10:05	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
19/09/2025	2	Horno 1	186	165	10:10	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
19/09/2025	3	Horno 1	186	165	10:15	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
19/09/2025	4	Horno 1	186	165	10:15	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
19/09/2025	5	Horno 1	186	165	10:20	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
19/09/2025	6	Horno 1	186	165	10:25	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
19/09/2025	7	Horno 1	186	165	10:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
19/09/2025	8	Horno 1	186	165	10:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
19/09/2025	9	Horno 1	186	165	10:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
19/09/2025	10	Horno 1	186	165	10:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
19/09/2025	11	Horno 1	186	165	11:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
19/09/2025	23	Horno 1	186	165	12:08	Tratamiento térmico	58.2	47	55.5	71.5	50.1
19/09/2025	24	Horno 1	186	165	12:10	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
19/09/2025	25	Horno 1	186	165	12:15	Tratamiento térmico	33.5	40	38.2	62	34
19/09/2025	26	Horno 1	186	165	12:20	Tratamiento térmico	31.5	36	34.5	60	33.5
19/09/2025	27	Horno 1	186	165	12:25	Tratamiento térmico	30.6	33.1	31.1	59.4	33.3
19/09/2025	28	Horno 1	186	165	12:30	Tratamiento térmico	29.8	30.5	29	56	33
19/09/2025	29	Horno 1	186	165	12:35	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
19/09/2025	30	Horno 1	186	165	12:40	Tratamiento térmico	27.9	24	26	45	33
19/09/2025	31	Horno 1	186	165	12:45	Tratamiento térmico	27.8	23	25	40	32.9
19/09/2025	32	Horno 1	186	165	12:50	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
19/09/2025	33	Horno 1	186	165	12:55	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
19/09/2025	1	Horno 2	189	165	13:00:00	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
19/09/2025	2	Horno 2	189	165	13:05	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
19/09/2025	3	Horno 2	189	165	13:10	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
19/09/2025	4	Horno 2	189	165	13:15	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		

19/09/2025	5	Horno 2	189	165	13:20:00	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
19/09/2025	6	Horno 2	189	165	13:25	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
19/09/2025	7	Horno 2	189	165	13:30	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
19/09/2025	8	Horno 2	189	165	13:35	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
19/09/2025	9	Horno 2	189	165	13:40:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
19/09/2025	10	Horno 2	189	165	13:45:00	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
19/09/2025	11	Horno 2	189	165	13:50	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
19/09/2025	12	Horno 2	189	165	13:55	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
19/09/2025	13	Horno 2	189	165	14:00	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
19/09/2025	14	Horno 2	189	165	14:05:00	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
19/09/2025	15	Horno 2	189	165	14:10:00	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
19/09/2025	16	Horno 2	189	165	14:15	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
19/09/2025	17	Horno 2	189	165	14:20	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
19/09/2025	18	Horno 2	189	165	14:25	Llegada a prueba hidrostatica	76.4	75.6	69.9	80.6	75.1
19/09/2025	19	Horno 2	189	165	14:30:00	Colocación sistema enfriamiento	72	70.5	68.2	79	73
19/09/2025	20	Horno 2	189	165	14:35:00	Fin de colocación sistema	70	68.2	65.5	77.5	71
19/09/2025	21	Horno 2	189	165	14:40:00	Tratamiento térmico	70.2	52.7	60.3	78	70
19/09/2025	22	Horno 2	189	165	14:45	Tratamiento térmico	69.7	48.5	58.6	75.6	65.6
19/09/2025	23	Horno 2	189	165	14:50	Tratamiento térmico	48.6	46.7	58.6	67.9	35.2
19/09/2025	24	Horno 2	189	165	14:55	Tratamiento térmico	36	46	42.3	65.8	34.3
19/09/2025	25	Horno 2	189	165	15:00:00	Tratamiento térmico	33	35	34	62	33.5
19/09/2025	26	Horno 2	189	165	15:05:00	Tratamiento térmico	31	32.5	30.5	58	32.8
19/09/2025	27	Horno 2	189	165	15:10:00	Tratamiento térmico	28.7	25	27	53.4	33.3
19/09/2025	28	Horno 2	189	165	15:15	Tratamiento térmico	27.8	26.6	27.4	36.9	32.9
19/09/2025	29	Horno 2	189	165	15:20	Tratamiento térmico	25.3	22.1	22.4	30	29.4
19/09/2025	1	Horno 1	187	165	15:25	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
19/09/2025	2	Horno 1	187	165	15:30:00	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
19/09/2025	3	Horno 1	187	165	15:35:00	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
19/09/2025	4	Horno 1	187	165	15:40:00	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
19/09/2025	5	Horno 1	187	165	15:45	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
19/09/2025	6	Horno 1	187	165	15:50	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
19/09/2025	7	Horno 1	187	165	15:55	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
19/09/2025	8	Horno 1	187	165	16:00:00	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
19/09/2025	9	Horno 1	187	165	16:05:00	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
19/09/2025	10	Horno 1	187	165	16:10	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
19/09/2025	11	Horno 1	187	165	16:15	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
19/09/2025	12	Horno 1	187	165	16:20	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
19/09/2025	13	Horno 1	187	165	16:25:00	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
19/09/2025	14	Horno 1	187	165	16:30:00	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
19/09/2025	15	Horno 1	187	165	16:35	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
19/09/2025	16	Horno 1	187	165	16:40	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
19/09/2025	17	Horno 1	187	165	16:45	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
19/09/2025	18	Horno 1	187	165	16:50:00	Llegada a prueba hidrostatica	71.2	74.6	69	92.4	87.1
19/09/2025	19	Horno 1	187	165	16:55:00	Colocación sistema enfriamiento	66.4	70.2	64.8	87.6	84
19/09/2025	20	Horno 1	187	165	17:00	Fin de colocación sistema	61.9	65.8	60.3	84	81.2
19/09/2025	21	Horno 1	187	165	17:05	Tratamiento térmico	57.2	61.1	55.5	80.2	77.5
19/09/2025	22	Horno 1	187	165	17:10	Tratamiento térmico	52.6	56.4	51	76	73.1
19/09/2025	23	Horno 1	187	165	17:15:00	Tratamiento térmico	48.9	52.2	47.5	71.5	69.4
19/09/2025	24	Horno 1	187	165	17:20:00	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
19/09/2025	25	Horno 1	187	165	17:25	Tratamiento térmico	41	44.2	40.2	631	60.7
19/09/2025	26	Horno 1	187	165	17:30	Tratamiento térmico	37.8	41.1	37	59.4	57
19/09/2025	27	Horno 1	187	165	17:35	Tratamiento térmico	34.2	37.4	33.5	56	54.1

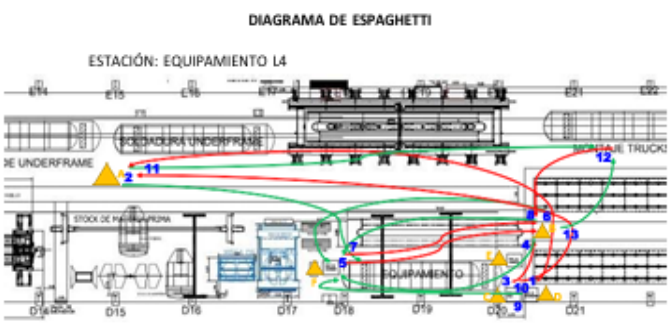
19/09/2025	28	Horno 1	187	165	17:40	Tratamiento térmico	31.4	34	30.6	52.1	50.6
19/09/2025	29	Horno 1	187	165	17:45	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
19/09/2025	30	Horno 1	187	165	17:50	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
19/09/2025	31	Horno 1	187	165	17:55	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
19/09/2025	32	Horno 1	187	165	18:00	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
19/09/2025	33	Horno 1	187	165	18:05	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5
19/09/2025	1	Horno 2	94	180	18:10	Salida del horno	350.2	342.9	348.5		
19/09/2025	2	Horno 2	94	180	18:15	Izamiento con grúa viajera	328.8	318.2	321.5		
19/09/2025	3	Horno 2	94	180	18:20	Enfriamiento natural	294.3	287.1	291.1		
19/09/2025	4	Horno 2	94	180	18:25	Posicionamiento en equipamiento	294.3	287.1	291.1		
19/09/2025	5	Horno 2	94	180	18:30	Equipamiento	232.6	244.4	237.2		
19/09/2025	6	Horno 2	94	180	18:35	Equipamiento	228.2	232.6	217.5		
19/09/2025	7	Horno 2	94	180	18:40	Equipamiento	153.4	160.2	138.5		
19/09/2025	8	Horno 2	94	180	18:45	Enfriamiento natural	140.2	148.1	130.5		
19/09/2025	9	Horno 2	94	180	18:50	Enfriamiento natural	128.5	135	120.3		
19/09/2025	10	Horno 2	94	180	18:55	Enfriamiento natural	117.2	125.5	112		
19/09/2025	11	Horno 2	94	180	19:00	Enfriamiento natural	110.1	120	109.4		
19/09/2025	12	Horno 2	94	180	19:05	Montaje a trucks	106.9	118.6	108.1		
19/09/2025	13	Horno 2	94	180	19:10	Montaje a trucks	98	105.9	95.9		
19/09/2025	14	Horno 2	94	180	19:15	Montaje a trucks	88.8	98.2	87.4		
19/09/2025	15	Horno 2	94	180	19:20	Montaje a trucks	87.1	94.5	85.9		
19/09/2025	16	Horno 2	94	180	19:25	Montaje a trucks	86.6	91.1	83.1		
19/09/2025	17	Horno 2	94	180	19:30	Movimiento a prueba hidrostatica	78.9	78.6	75.5		
19/09/2025	18	Horno 2	94	180	19:35	Llegada a prueba hidrostatica	71.2	74.6	69	92.4	87.1
19/09/2025	19	Horno 2	94	180	19:40	Colocación sistema enfriamiento	66.4	70.2	64.8	87.6	84
19/09/2025	20	Horno 2	94	180	19:45	Fin de colocación sistema	61.9	65.8	60.3	84	81.2
19/09/2025	21	Horno 2	94	180	19:50	Tratamiento térmico	57.2	61.1	55.5	80.2	77.5
19/09/2025	22	Horno 2	94	180	19:55	Tratamiento térmico	52.6	56.4	51	76	73.1
19/09/2025	23	Horno 2	94	180	20:00	Tratamiento térmico	48.9	52.2	47.5	71.5	69.4
19/09/2025	24	Horno 2	94	180	20:05	Tratamiento térmico	44.7	48.5	43.8	67.3	65
19/09/2025	25	Horno 2	94	180	20:10	Tratamiento térmico	41	44.2	40.2	631	60.7
19/09/2025	26	Horno 2	94	180	20:15	Tratamiento térmico	37.8	41.1	37	59.4	57
19/09/2025	27	Horno 2	94	180	20:20	Tratamiento térmico	34.2	37.4	33.5	56	54.1
19/09/2025	28	Horno 2	94	180	20:25	Tratamiento térmico	31.4	34	30.6	52.1	50.6
19/09/2025	29	Horno 2	94	180	20:30	Tratamiento térmico	29	31.2	28.2	49.6	47.3
19/09/2025	30	Horno 2	94	180	20:35	Tratamiento térmico	27.4	29.6	26.6	46.5	44.1
19/09/2025	31	Horno 2	94	180	20:40	Tratamiento térmico	26.2	28.1	25.3	43.8	41.5
19/09/2025	32	Horno 2	94	180	20:45	Tratamiento térmico	25.4	27.3	24.5	41	39
19/09/2025	33	Horno 2	94	180	20:50	Tratamiento térmico	24.8	26.6	23.9	39	37.5

Ilustración 40. Registro de temperaturas del muestreo del proceso

Diagrama de espagueti de la operación de Equipamiento y Enfriamiento.

El análisis mediante el **diagrama de espagueti** aplicado a la operación de **Equipamiento y Enfriamiento** permitió visualizar de manera clara los recorridos que realiza el personal dentro de la estación de trabajo. A partir de la representación gráfica, se evidenció que los movimientos de los operadores no son lineales ni optimizados, generando recorridos redundantes y desplazamientos innecesarios entre el equipamiento y el área de enfriamiento. Se observó que gran parte del tiempo se destina a trasladarse hacia el carro tanque y desde el carro tanque, así como a manipular herramientas y retirar el sistema de enfriamiento, lo cual contribuye a aumentar los tiempos de ciclo total de la operación. Este mapeo también permitió identificar zonas críticas donde se concentran los desplazamientos, así como puntos de espera que afectan la eficiencia general del proceso.

En síntesis, el diagrama de espagueti evidencia claramente que existen oportunidades de mejora en la **disposición de los recursos, la ubicación de herramientas y la secuencia de operaciones**, ya que los recorridos actuales no solo incrementan los tiempos muertos, sino que también implican un mayor esfuerzo físico para los operadores, afectando la productividad y la consistencia del proceso.



OPERACIÓN	TC (MIN)
ENFRIAMIENTO	16
EQUIPAMIENTO	42

Ilustración 41.Resultado del diagrama de espagueti

RECORRIDO	INICIO	FIN	NO. PART	ALMACEN	CANTIDAD	DISTANCIA MTS.
1	TANK CAR	A				5
2	A	TANK CAR	27300093	A		5
3	TANK CAR	B				1
4	B	TANK CAR	671630-03	B		2
5	TANK CAR	B				2
6	B	TANK CAR	671035-03	B		2
7	TANK CAR	B				2
8	B	TANK CAR	111001-53	B	1	2
			111002-34	B	1	
			671011-03	B		
			671011-04	B		
9	C - D	TANK CAR	671636-03	C - D		2
			171006-03			
			100317-03	E		
			100317-03	F		
10	TANK CAR	A				5
11	A	MONTAJE	27300094	A		6
12	VIAS	B				1
13	B	MONTAJE	171035-03	B		1

Ilustración 42.Resultado del análisis del diagrama de espagueti

FODA.

El análisis FODA realizado sobre la implementación del sistema de enfriamiento en la operación de Equipamiento y Enfriamiento permitió identificar de manera clara los factores internos y externos que influyen en la eficiencia y seguridad del proceso.

Dentro de las fortalezas, se observó una mejora significativa en la funcionalidad y eficiencia del proceso, al permitir un enfriamiento más rápido del tanque, lo que contribuye directamente a reducir los tiempos de espera. Así mismo, se destacó un incremento en la seguridad de los operadores, al minimizar la exposición a temperaturas elevadas durante la extracción de tubos, fortaleciendo las condiciones de trabajo dentro de la estación.

En cuanto a las debilidades, se identificó que el nuevo sistema requiere un proceso de adaptación por parte de los operadores, dado que su manejo inicial puede presentar dificultades. Además, la implementación del equipo implica la asignación de recursos adicionales y una planificación específica para integrarlo de manera efectiva en el flujo operativo existente.

Entre las oportunidades, se encontró la posibilidad de optimizar el flujo operativo de la prueba hidrostática, disminuyendo los tiempos de espera y mejorando la continuidad del proceso. También se visualiza el potencial para establecer protocolos y hábitos de operación estandarizados, lo que facilitaría el uso correcto del sistema a largo plazo y promovería consistencia en la operación.

Finalmente, las amenazas identificadas incluyen el riesgo de resistencia al cambio por parte del personal, especialmente si no se proporciona la capacitación adecuada, así como posibles ajustes iniciales al sistema que podrían afectar temporalmente la eficiencia hasta alcanzar una operación estable y consolidada.

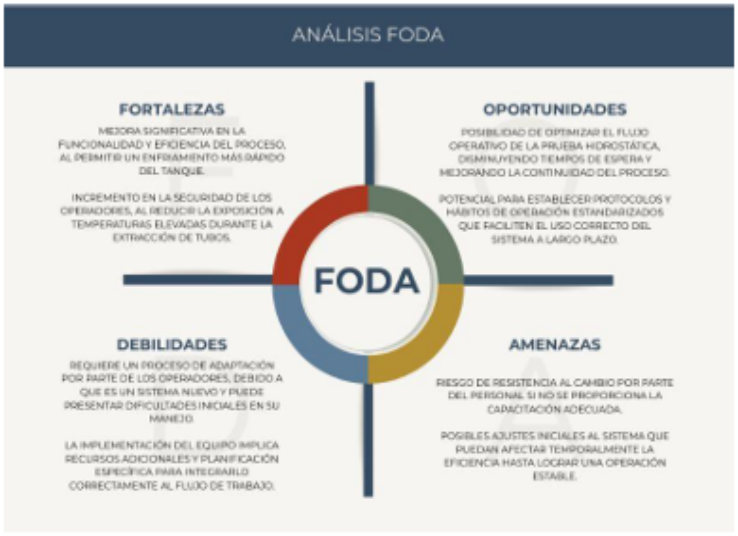


Ilustración 43.Resultado del FODA

Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió analizar y optimizar el proceso de Equipamiento y Enfriamiento de los carros tanque, identificando áreas de mejora relacionadas con el control térmico, la distribución de actividades y la eficiencia operativa. A través de herramientas como el VSM, el Yamazumi y el estudio de tiempos, se obtuvo una visión clara del flujo de valor, evidenciando los desequilibrios existentes y las oportunidades de mejora en la coordinación entre operador y gruista.

Los resultados obtenidos contribuyeron a una mejor comprensión del comportamiento térmico de los tanques durante el proceso, reduciendo riesgos por sobrecalentamiento y fortaleciendo las prácticas de seguridad. Asimismo, el proyecto sentó las bases para futuras mejoras que podrían enfocarse en la automatización parcial del enfriamiento o en la redistribución de tareas para balancear la carga operativa.

En el ámbito personal y formativo, la ejecución del proyecto permitió consolidar competencias clave de la Ingeniería Industrial, como el análisis crítico, la aplicación de metodologías Lean, la gestión de datos experimentales y la comunicación técnica. De esta manera, el trabajo no solo aportó beneficios al proceso analizado, sino también un crecimiento profesional significativo que refuerza la capacidad de aplicar soluciones reales a problemas industriales.

Competencias desarrolladas

Durante el desarrollo del proyecto se fortalecieron diversas competencias profesionales, técnicas y personales, esenciales para el desempeño del ingeniero industrial en entornos reales de manufactura. Entre las principales destacan:

1. **Análisis y mejora de procesos productivos:** Se aplicaron herramientas de Ingeniería Industrial como el *Value Stream Mapping (VSM)*, *análisis FODA*, *diagramas de flujo* y *diagramas de espagueti* para comprender el flujo de valor y proponer mejoras en la eficiencia y seguridad del proceso de equipamiento y enfriamiento.

2. **Aplicación de principios Lean Manufacturing:** Se integraron metodologías orientadas a la reducción de desperdicios, la optimización de recursos y la mejora continua, identificando actividades que agregan valor y aquellas que generan demoras o ineficiencias.

3. **Manejo de instrumentos de medición y análisis técnico:** Se desarrollaron habilidades en la recolección, registro y análisis de datos térmicos mediante el uso de

pirómetros y termopares, así como en la ejecución de estudios de tiempos para cuantificar la eficiencia del proceso.

4. **Diseño asistido por computadora (CAD):** Se utilizó *SolidWorks* para modelar el sistema de control térmico, generando representaciones tridimensionales precisas que facilitaron la comprensión del diseño y la integración al entorno real de trabajo.
5. **Gestión y documentación de proyectos industriales:** Se elaboraron reportes técnicos estructurados, layouts y planos del área de trabajo, integrando los resultados obtenidos con base en evidencias y datos objetivos. Esto permitió reforzar la capacidad para planificar, ejecutar y evaluar proyectos de mejora industrial.
6. **Trabajo colaborativo e interdisciplinario:** Se trabajó de forma coordinada con las áreas de *Mejora Continua, Ingeniería Industrial y Seguridad Industrial*, fomentando la comunicación efectiva, la toma de decisiones en equipo y la adaptación a los requerimientos operativos de la empresa.
7. **Conciencia en seguridad y ergonomía laboral:** Se reconoció la importancia de diseñar soluciones técnicas que reduzcan riesgos, mejoren las condiciones de trabajo del personal y cumplan con los estándares de seguridad establecidos por la organización.

Fuentes de información

- Minnich, A. J. (2014). *Heat Conduction by Phonons: A Review*. Annual Review of Heat Transfer.
- Pásztory, Z., Horváth, S., & Szemmelveisz, K. (2021). *Thermal conductivity of materials and heat transfer principles*. Journal of Thermal Science and Engineering Applications.
- Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. McGraw-Hill.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute.
- Normas AAR Sección C Parte III. *Reglamento técnico para tanques de acero al carbono en la industria ferroviaria*.
- DOT 49 CFR Parte 179. *Regulaciones federales sobre especificaciones de tanques ferroviarios*.
- Recursos técnicos sobre termopares y efecto Seebeck (artículos y manuales de instrumentación industrial, 2020–2024).

Anexos

Anexo A. Normativas de referencia

AAR – Association of American Railroads

La *AAR* es la Asociación Americana de Ferrocarriles. Sus normas establecen los lineamientos técnicos, de diseño, fabricación y seguridad aplicables a los carros tanque utilizados en el transporte ferroviario de materiales peligrosos o presurizados. Estas regulaciones garantizan la integridad estructural, la trazabilidad de componentes y la confiabilidad operativa de los equipos.

DOT – Department of Transportation (49 CFR Part 179)

El *Department of Transportation* (DOT) de los Estados Unidos regula la construcción y mantenimiento de tanques ferroviarios mediante la norma *Code of Federal Regulations, Title 49, Part 179*. Esta norma define los requerimientos técnicos, pruebas de presión, materiales y procedimientos de inspección que deben cumplir los recipientes destinados al transporte de sustancias peligrosas, asegurando la seguridad y cumplimiento internacional.

Anexo B. Glosario técnico

Ingeniería Industrial:
Disciplina encargada del diseño, mejora e implementación de sistemas integrados de personas, materiales, información, energía y equipos, aplicando principios científicos y métodos analíticos para optimizar procesos productivos, de calidad y servicio.

Mejora Continua:
Filosofía de gestión enfocada en la evaluación constante de procesos, con el propósito de reducir desperdicios, optimizar recursos y aumentar el valor agregado. Se sustenta en herramientas Lean y ciclos PDCA (Plan–Do–Check–Act).

Implementación:
Etapa del proceso de mejora donde las propuestas diseñadas se llevan a la práctica, validando su efectividad mediante resultados medibles y evidencias documentales.