

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PROPUESTA DE PLANIFICACION Y PROGRAMACION DE TAREAS DE
MANTENIMIENTO UTILIZANDO METODOLOGIA PERT-CPM**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero/a en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Alumnos:

Leonardo Antonio Peña Sias

Profesor Guía:

Mg. Ing. Ricardo Javier Ciudad Cartagena



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROPUESTA DE PLANIFICACION Y PROGRAMACION DE TAREAS DE MANTENIMIENTO UTILIZANDO METODOLOGIA PERT-CPM

Nombre del candidato(a): LEONARDO ANTONIO PEÑA SIAS

Carrera / Grado: INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Campus: JOSE MIGUEL CARRERA Departamento: MECANICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, RICARDO CIUDAD CARTAGENA, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

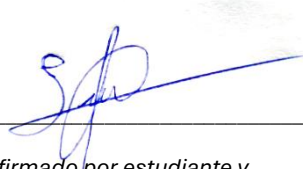
Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 28/05/2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 07/05/2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: METODOLOGIA, PERT-CPM, PLANIFICACIÓN, MATRIZ EISENHOWER.

La metodología PERT (Program Evaluation and Review Technique) y CPM (Critical Path Method) son técnicas de gestión de proyectos que permiten planificar, programar y controlar las actividades necesarias para completar un proyecto de manera eficiente. Ambas metodologías se complementan y se utilizan para abordar diferentes aspectos del manejo del tiempo y los costos en proyectos.

El enfoque de este escrito está basado en la propuesta de mejora para la planificación de tareas de mantenimiento de una empresa prestadora de servicios de ingeniería, específicamente SALCO Spa. Este se ubica en la región de coquimbo ciudad de Salamanca. Dicha propuesta no solo puede ser abordada por este tipo de rubro, sino que es posible usarlo para otros tipos de proyectos que requieran una planificación.

En el capítulo número uno se dará a conocer la situación actual en la que se encuentra la empresa y la jerarquización de las tareas propuestas, por medio de la información recopilada, se tomó una muestra del primer mes de trabajo donde se determinaron los puntos críticos en la planificación que tiene la organización. Además, se procederá a jerarquizar las tareas de mantenimiento mediante la matriz Eisenhower, una herramienta utilizada para priorizar actividades con dos indicadores clave: Importancia y Urgencia.

En el capítulo numero dos se propone una planificación utilizando la metodología PERT-CPM utilizando como apoyo el software Gantt Project. En este capítulo se abordarán las reglas para crear un diagrama de red, así como el cálculo de probabilidades al término del proyecto, gracias a esto se podrá visualizar de mejor manera el proyecto en su totalidad.

Por último, el capítulo número tres constara de la evaluación, técnica y económica de la propuesta, siendo esta el cálculo del costo total del proyecto, así como el costo correspondiente a la aceleración de actividades, debido a los costos por penalización que se generan al extender la duración total del proyecto más allá del límite acordado.

ABSTRACT

****KEYWORDS:**** METHODOLOGY, PERT-CPM, PLANNING, EISENHOWER MATRIX.

The PERT (Program Evaluation and Review Technique) and CPM (Critical Path Method) methodologies are project management techniques that enable the planning, scheduling, and control of the activities required to complete a project efficiently. Both methodologies complement each other and are used to address different aspects of time and cost management in projects.

The focus of this document is based on a proposed improvement for the planning of maintenance tasks in an engineering services company, specifically SALCO Spa, located in the Coquimbo Region, in the city of Salamanca. This proposal is not limited to this type of industry, as it can also be applied to other types of projects that require planning.

Chapter One presents the company's current situation and the prioritization of the proposed tasks. Based on the information collected, a sample from the first month of work was analyzed to identify the critical points in the organization's planning process. In addition, maintenance tasks will be prioritized using the Eisenhower Matrix, a tool used to prioritize activities based on two key indicators: Importance and Urgency.

Chapter Two proposes a planning approach using the PERT-CPM methodology, supported by the GanttProject software. This chapter covers the rules for creating a network diagram, as well as the calculation of project completion probabilities. As a result, the project can be visualized more effectively and comprehensively.

Finally, Chapter Three consists of the technical and economic evaluation of the proposal. This includes calculating the total project cost, as well as the costs associated with activity crashing (acceleration), due to penalty costs incurred when the total project duration exceeds the agreed-upon deadline.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CÁPITULO 1: ANTECEDENTES Y JERARQUIZACIÓN DE ACTIVIDADES	3
1. antecedentes generales.	3
1.1. la organización	3
1.1.1. misión	4
1.1.2. visión	4
1.1.3. clientes	4
1.1.4. Actividades realizadas por Salco Spa	5
1.1.5. Dotación de personal	5
1.1.6. Organigrama	6
1.2. Estrategia organizacional	7
1.3. Sistema de cabecera en tranque quillayes	8
1.4. Descripción del problema	9
1.4.1. Alternativa de solución	11
2. Jerarquización de actividades	12
2.1. Antecedentes generales de la jerarquización	12
2.1.1. Matriz Eisenhower	13
2.1.1.1. Antecedentes Matriz Eisenhower	13
2.1.2. Aplicación Matriz Eisenhower	14
2.1.2.1. Urgencia	15
2.1.2.2. Importancia	16
2.1.2.3. Resultados de la jerarquización	19
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN METODOLOGÍA PERT-CPM	21
3. antecedentes generales	21
3.1. Metodología PERT-CPM	21
3.1.1. Planteamiento matemático PERT-CPM	22
3.1.1.1. Distribución beta	22
3.1.1.2. Tiempo de actividades	23

3.2.	Pasos para implementar la metodología PERT-CPM.....	24
3.2.1.	Reglas básicas de la construcción de un diagrama de red.....	25
3.2.1.1.	Secuencia de actividades.....	27
4.	Aplicación metodología PERT-CPM	28
4.1.	Planeación, programación y asignación de recursos	28
4.1.1.	Construcción de la red PERT-CPM.....	30
4.2.	Probabilidad de término del proyecto.	34
4.2.1.	Procedimiento para el calculo de la probabilidad de termino.	35
4.2.1.1.	Ejemplo de la búsqueda de probabilidad.....	37
4.2.2.	Resultados cálculo de probabilidades de término del proyecto.	38
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO.....		40
5.	antecedentes generales.	40
5.1.	Importancia de la gestión de costos.....	40
5.2.	Costos asociados a mano de obra.	40
5.3.	Otros costos asociados	43
6.	Aplicación análisis de costos.....	44
6.1.	Análisis Tiempo-Costo en la Metodología PERT-CPM.....	44
6.1.1.	Conceptos Fundamentales del Análisis Tiempo-Costo.	44
6.1.2.	Emplear el CCUT en el análisis Tiempo-Costos.....	45
6.1.3.	Resultados CCUT.....	45
6.2.	Mejora de planificación en base a los tiempos acelerados.....	46
6.2.1.	Resultados de la mejora diagrama PERT-CPM.....	48
6.3.	Resultados del análisis Tiempo-costo en la metodología PERT-CPM.....	49
7.	CONCLUSIÓN.	51
8.	RECOMENDACIONES.	52
BIBLIOGRAFÍA.....		53
9.	ANEXOS.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Dotación de personal.....5

Tabla 1-2 Jerarquización nivel de importancia..... 18

Tabla 1-3 Jerarquización nivel de urgencia 18

Tabla 2-4 Actividades eléctricas y tiempos del proyecto 29

Tabla 2-5 Actividades eléctricas y tiempos del proyecto. 29

Tabla 2-6 Actividades eléctricas y tiempos del proyecto 30

Tabla 2-7 Tiempos más próximos y tardíos de las tareas de mantenimiento. 33

Tabla 2-8 Probabilidades para 3 alternativas de cumplimiento de las tareas eléctricas. ...38

Tabla 3-9 Costo mensual mano de obra. 41

Tabla 3-10 Costos por hora. 42

Tabla 3-11 Costos del personal por hora para actividades de la ruta crítica. 43

Tabla 3-12 Costos de reducción por día en la ruta crítica. 45

Tabla 3-13 Cantidad de aceleraciones por actividad. 47

Tabla 3-14 Actividades elegidas para realizar la aceleración.....48

Tabla 3-15 Flujo total del proyecto. 50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Ubicación empresa Salco 3

Figura 1-2 Organigrama 2024 empresa Salco 6

Figura 1-3 Flujograma de los procesos de mantenimiento. 8

Figura 1-4 Sistema Cabecera MLP, área de trabajo tranque quillayes. 9

Figura 1-5 Matriz Eisenhower..... 14

Figura 1-6 Muestra de la matriz Eisenhower. 20

Figura 2-7 Diagrama flujo de planificación de los tiempos de un proyecto. 25

Figura 2-8 Representación de una actividad y su precedencia.....26

Figura 2-9 Nodos del diagrama de red. 26

Figura 2-10 Relación Fin a Inicio. 27

Figura 2-11 Relación Inicio a Inicio.....27

Figura 2-12 Relación Fin a Fin. 28

Figura 2-13 Relación Inicio a Fin. 28

Figura 2-14 Diagrama de red tareas eléctricas en horas.....31

Figura 2-15 Ejemplo de histograma junto a la curva que grafica la distribución normal. 35

Figura 2-16 Tabla de la distribución normal N (0,1) para probabilidad acumulada inferior.
.....37

Figura 3-17 Diagramación de la ruta crítica (Cuadrante III, tareas eléctricas). 47

Figura 3-18 Diagrama PERT-CPM (Ruta crítica, tareas mecánicas). 49

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-1 Gráfico avances reales vs planificados. 10

Gráfico 1-2 Resultados de jerarquización. 19

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

A. SIGLAS

- PERT: Program Evaluation and Review Technique (Técnica de evaluación y revisión de programas)
- CPM: Critical Path Method (Método de la ruta crítica)
- STR: Sistemas de transporte de relaves
- FODA: Fortaleza-Oportunidades-Debilidades-Amenazas
- SHA: Seguridad, higiene y ambiente
- IO: Impacto operacional
- CT: Complejidad del trabajo
- EBB: Estación booster
- EBR: Estación bombeo sistema de repulpeo
- SUM: Sistema alimentación de agua
- ES: Early Start (Tiempo más temprano para comenzar)
- EF: Early Finish (Tiempo más temprano para finalizar)
- LS: Late Start (Tiempo más tardío para comenzar)
- LF: Late Finish (Tiempo más tardío para finalizar)
- CCUT: Crash cost per unit time (Costo de aceleración por unidad de tiempo)

B. SIMBOLOGIAS

Cp: Concentración de partículas mm: milímetros

INTRODUCCIÓN

La planificación y programación eficiente de tareas en el ámbito del mantenimiento industrial se ha convertido en una necesidad primordial para asegurar la continuidad operativa y la optimización de los recursos. En un entorno empresarial cada vez más competitivo, la falta de un sistema de gestión del tiempo estructurado puede derivar en atrasos, costos adicionales y una disminución de la productividad. La importancia de implementar metodologías sólidas que permitan una mejor administración de los recursos y tiempos es crítica para mejorar el desempeño general de las organizaciones.

El presente escrito, titulado "Propuesta de Planificación y Programación de Tareas de Mantenimiento Utilizando Metodología PERT-CPM", tiene su origen en la experiencia práctica desarrollada en la empresa SALCO, donde se evidenciaron serios problemas relacionados con la falta de una metodología de planificación estructurada. Durante el primer mes de operaciones, la empresa logró completar solo el 69% de los trabajos planificados, lo que generó un desajuste significativo en el cronograma proyectado. Este desfase fue visibilizado mediante una gráfica de curva S, que mostró claramente los problemas de ejecución derivados de una planificación ineficiente.

Para abordar esta problemática, se propone la aplicación de la metodología PERT-CPM, una herramienta ampliamente utilizada en la gestión de proyectos, que permite tanto la jerarquización como la programación eficiente de tareas. En este caso, la metodología se utilizará para jerarquizar un total de 134 trabajos de mantenimiento utilizando la matriz Eisenhower, una herramienta que permite clasificar las tareas según su urgencia e importancia. Posteriormente, estos trabajos serán planificados utilizando el software Gantt Project, lo que permitirá calcular la probabilidad de finalización en distintos escenarios.

La metodología PERT-CPM fue seleccionada debido a sus claras ventajas frente a otros enfoques de planificación. A diferencia de métodos más tradicionales que no consideran adecuadamente la incertidumbre y la interdependencia entre actividades, PERT-CPM permite una planificación más precisa al identificar las tareas críticas que determinan la duración total del proyecto. Esto otorga una capacidad de control superior al destacar las áreas que requieren mayor atención. Además, el cálculo de tiempos probabilísticos en PERT proporciona flexibilidad ante posibles variaciones en el tiempo de ejecución. Como señala el Dr. Larry Bennett, ingeniero civil y autor destacado en gestión de proyectos:

"El método de ruta crítica ayuda a manejar proyectos de dos formas diferentes: produce un calendario planificado para guiar al equipo y constituye la base para el seguimiento del desempeño del proyecto, comparando el progreso real con el planeado". (Bennett, 1977)

Esta propuesta está pensada para las tareas de mantenimiento a partir de marzo de 2024 y se espera que sirva como un modelo replicable para futuras operaciones de mantenimiento dentro de la empresa.

OBJETIVO GENERAL

Proponer una mejora en la gestión y control de los procesos de mantenimiento de la empresa SALCO utilizando metodología PERT-CPM, como ayuda a la toma de decisiones, así como la gestión del tiempo y los recursos que se emplean.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Jerarquizar las tareas de mantenimiento, por medio de la herramienta matriz Eisenhower, determinando su nivel de urgencia e importancia.
- Planificar los tiempos de las tareas de mantenimiento, a través del uso de la metodología PERT-CPM obteniendo la probabilidad de término.
- Evaluar de forma técnica y económica la propuesta planteada, por medio de un estudio de factibilidad, conociendo los costos asociados.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y JERAROUIZACIÓN DE ACTIVIDADES

1. ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. LA ORGANIZACIÓN

SALCO Spa es una empresa familiar creada en el año 2018, cuyos socios son miembros de la misma familia y amigos cercanos. Desde sus inicios, ha basado su modelo de negocio en competir con otras compañías para ganarse contratos licitados por grandes empresas, destacando entre ellas Minera Los Pelambres. Originalmente, la empresa se especializó en la ejecución de obras civiles, la preparación de terrenos mediante excavaciones y movimientos de tierra, y la prestación de servicios de ingeniería en general.



Fuente: Google maps

Figura 1-1
Ubicación empresa Salco

En 2024, en respuesta a las crecientes demandas del mercado y buscando diversificar sus servicios, SALCO decidió expandir sus operaciones hacia el área de mantenimiento, añadiendo este rubro a su portafolio. Con esta ampliación de servicios, la empresa busca posicionarse como un actor integral capaz de abarcar tanto las fases de construcción como las de mantenimiento de infraestructura.

La organización se encuentra ubicada en el sector de Chalinga, en la ciudad de Salamanca, dentro de la región de Coquimbo, donde continúa fortaleciendo su presencia y competitividad dentro del sector minero y de servicios de ingeniería en general.

1.1.1. MISIÓN

Desarrollar proyectos de ingeniería y ser merecedores de la fidelización de nuestros clientes, por el nivel de calidad, innovación y diferenciación de nuestros servicios. Creciendo de forma rentable y segura para el mejoramiento de nuestra sociedad, a través de un capital humano formado con profesionales calificados.

1.1.2. VISIÓN

Ser un compañero que, de valor agregado a los procesos de nuestros clientes, contribuyendo de manera objetiva a la obtención de sus objetivos de forma segura y eficiente, fomentando a todo nuestro equipo de desarrollo profesional y personal, comprometiendo cuidados permanentes mediante la seguridad, la comunidad y el medio ambiente.

1.1.3. CLIENTES

Fraser Alexander Limited es una empresa líder en soluciones para el manejo de residuos mineros, ofreciendo diseño, construcción, operación y mantenimiento de depósitos de relaves. A través de sus divisiones especializadas, Fraser Alexander Tailings y Fraser Alexander Construction, gestiona depósitos de relaves, realiza remoción hidráulica, y brinda servicios de cierre y rehabilitación. La división Fraser Alexander Bulk Materials ofrece soluciones en el manejo de materiales a granel, mientras que Fraser Alexander Mineral Process se encarga de operar plantas de procesamiento.

1.1.4. ACTIVIDADES REALIZADAS POR SALCO SPA

Las actividades realizadas por Salco son varias, desde la preparación de terrenos mediante excavaciones y movimientos de tierra, y la prestación de servicios de ingeniería en general. Actualmente se encuentran realizando trabajos menores dados por la empresa Fraser Alexander Limited, estos consisten en el mantenimiento eléctrico y mecánico de tres sectores ubicados en el sector del tranque Quillayes: Estación Booster, Alimentación de agua y Sistema de Bombeo (sistema de repulpeo).

1.1.5. DOTACIÓN DE PERSONAL

La empresa trabaja mediante un turno 5 x 2, de lunes a viernes. La dotación actual de la empresa se presenta a continuación:

Tabla 1-1
Dotación de personal

Cargo	Dotación
Administrador de contrato	1
Representante legal	1
Encargada de RRHH	1
Asistente RRHH	1
Supervisor de terreno	2
Mecánico soldador	4
Eléctrico instrumentista	2
Eléctrico mantenedor	2
Maestro Primero	4
Prevencionista de riesgo	1
Jefe de Bodega	1
Conductor y operador camión pluma	2
Conductor de servicio	1

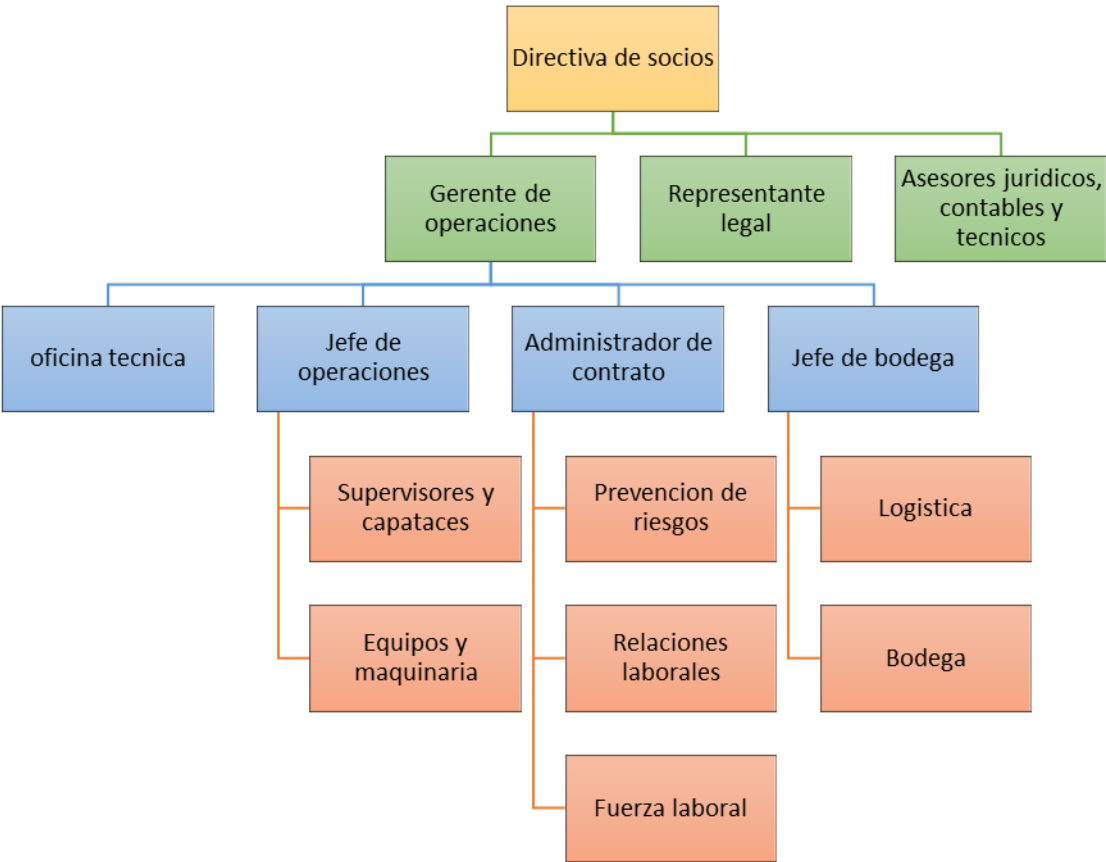
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa

El personal es un recurso clave para el éxito de cualquier empresa, ya que son las personas quienes ejecutan las estrategias y operan los procesos de la organización. La motivación, así como el compromiso y las competencias del equipo humano influyen directamente en la productividad y la calidad del servicio.

1.1.6. ORGANIGRAMA

La empresa se encuentra comandada por una directiva de socios, los cuales a su cargo se encuentra el gerente de operaciones Don Yair Sias Delgado, la representante legal Doña Jeannette Muñoz y los asesores jurídicos, contables y técnicos.

El equipo de trabajo se encuentra a cargo del gerente de operaciones donde se encuentra la oficina técnica, el jefe de operaciones Don Juan Carlos Sias, el administrador de contrato don Rodrigo Lorca y el jefe de bodega Don Carlos Vega.



Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la empresa

Figura 1-2
Organigrama 2024 empresa Salco

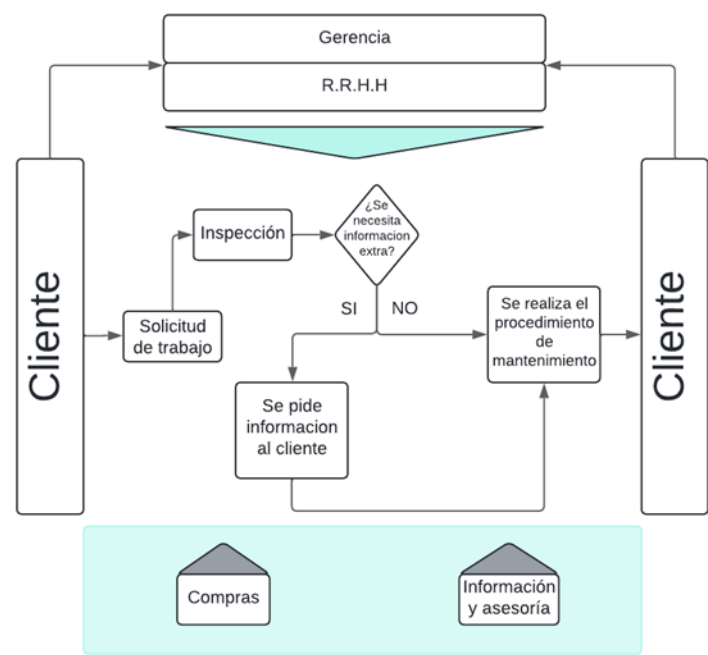
1.2. **ESTRATEGIA ORGANIZACIONAL**

La estrategia organizacional de SALCO Spa se centra en aumentar la tasa de éxito en la adjudicación de licitaciones mediante el enfoque en la calidad de los trabajos, el desarrollo del talento humano y la construcción de relaciones sólidas con los clientes. Esta visión estratégica busca no solo ganar más contratos, sino también consolidar la reputación de la empresa como un socio confiable y comprometido en el cumplimiento de altos estándares en cada proyecto que realiza.

El proceso operativo de la empresa sigue un esquema bien definido. Todo comienza cuando el cliente envía una solicitud de trabajo, la cual es registrada internamente bajo una de las tres categorías principales: Mecánica, Estructura o Eléctrica/Instrumentista. Una vez clasificada, se lleva a cabo una inspección del trabajo, en la cual el equipo de SALCO identifica cualquier información relevante adicional que sea necesaria para llevar a cabo el proyecto de manera óptima.

Con toda la información recopilada y los recursos preparados, el personal es asignado al proyecto, garantizando que cada fase del trabajo se realice según lo planificado y con la máxima eficiencia. Finalmente, tras la ejecución del trabajo, se notifica al cliente acerca del avance global del proyecto, lo que asegura una comunicación transparente y un control adecuado del progreso.

Este enfoque estratégico permite a SALCO no solo cumplir con los plazos y expectativas de los clientes, sino también crear una base sólida para futuras colaboraciones y licitaciones, al mantener un historial consistente de calidad y eficiencia.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa

Figura 1-3
Flujograma de los procesos de mantenimiento.

1.3. SISTEMA DE CABECERA EN TRANQUE QUILLAYES

El proceso de repulpeo es crucial en la industria minera, especialmente en la gestión de relaves, consiste en la mezcla de relaves secos o semisecos con agua para formar una pulpa que pueda ser transportada. Este método se utiliza principalmente para optimizar su manejo, permitiendo que sean impulsados mecánicamente a través de sistemas de bombeo hacia lugares específicos, que pueden ser tranques o piscinas de relaves. El sistema de Cabecera abarca las instalaciones ubicadas en la zona del tranque Quillayes, que incluyen procesos como el suministro de agua de dilución y lavado, el acondicionamiento de la pulpa, el harneado, el almacenamiento y agitación, el bombeo, y la distribución eléctrica, instrumentación y comunicaciones. Este sistema finaliza en el primer flange de la tubería del Relave ducto.

Para acondicionar el relave, se emplean harneros lineales que separan partículas mayores a 1,3 mm. Esta separación tiene como objetivo proteger las líneas de transporte (relave ductos). Las partículas ultra gruesas que superan ese tamaño son enviadas a una pila de almacenamiento temporal, desde donde se transportan posteriormente mediante camiones. El material fino que pasa a través de los harneros es conducido hacia los estanques de cabecera de ambos relave ductos, utilizando una canaleta colectora diseñada para tamaños pequeños.

Los estanques de cabecera suministran la carga necesaria para el transporte de relaves hacia el Tranque Mauro a través de los sistemas de transporte de relaves (STR) con diámetros de 28 y 36 pulgadas. Los relave ductos deben operar dentro de un rango mínimo permitido según el índice de concentración de partículas (C_p) del relave. En caso de requerirse el transporte de mayores volúmenes, se dispone de un sistema de bombeo adicional compuesto por tres bombas centrífugas de 3.700 hp cada una para el STR de 36 pulgadas, y dos bombas centrífugas de 2.500 hp cada una para el STR de 28 pulgadas.



Fuente: Google Maps

Figura 1-4

Sistema Cabecera MLP, área de trabajo tranque quillayes.

1.4. **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En el año 2024, SALCO Spa decidió expandir sus servicios hacia el área de mantenimiento, lo que les permitió adjudicarse una licitación para la realización de trabajos menores en el área de repulpeo de minera Los Pelambres, ofrecida por la empresa FRASER ALEXANDER. Esta licitación implicaba la ejecución de 134 trabajos de infraestructura y mantenimiento, con un plazo hasta finales del mes de mayo, comenzando el 1 de marzo de 2024. La organización, basándose en la experiencia de sus empleados, elaboró una planificación semanal para llevar a cabo estas actividades.

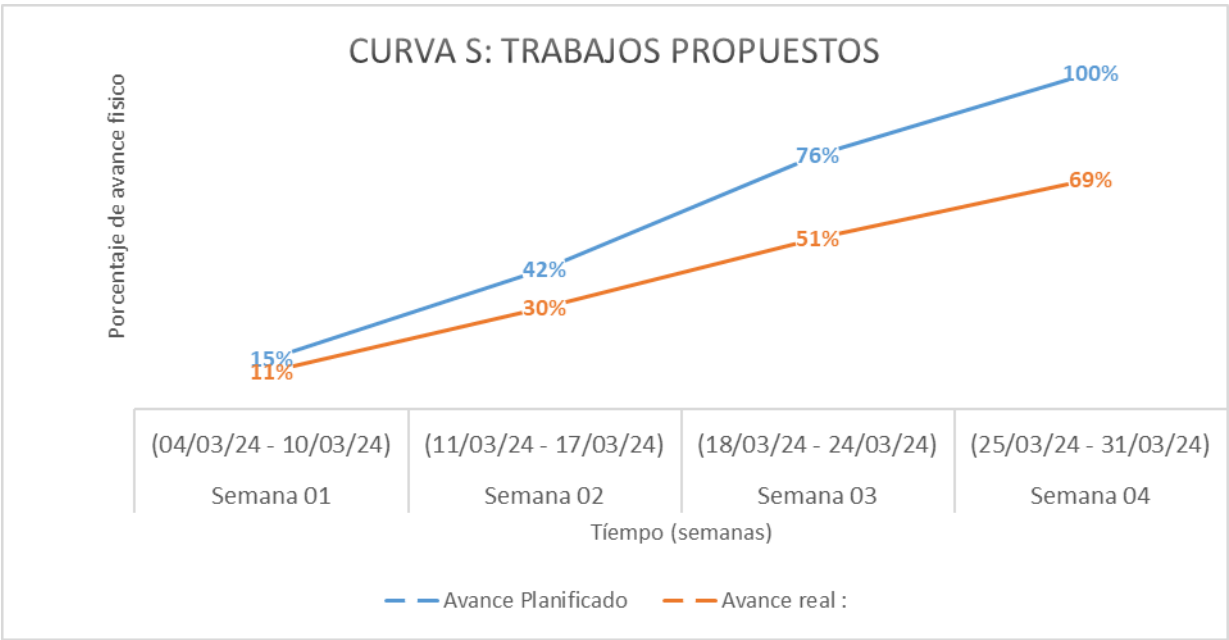
Durante el primer mes de trabajo, la empresa decidió evaluar el cumplimiento de dicha planificación utilizando un indicador de cumplimiento y la gráfica curva S, herramientas que

permitieron visualizar el progreso durante las primeras cuatro semanas de ejecución. El indicador de cumplimiento, definido como la proporción de tareas completadas respecto a las tareas totales planificadas, mostró un desempeño inferior al esperado.

$$Cumplimiento = \frac{Tareas\ Completadas}{Tareas\ Programadas}$$

$$Cumplimiento = \frac{20}{29} = 0.69$$

A partir de esta muestra de datos, el bajo nivel de cumplimiento evidenció varios problemas importantes. En primer lugar, se observó un retraso en el avance planificado, lo que pone en riesgo el cumplimiento del plazo global. Además, la planificación basada únicamente en la experiencia de los empleados reveló una mala optimización de los recursos disponibles, ya que no se utilizó una metodología más estructurada para asignar tareas y tiempos de manera eficiente. Asimismo, el control sobre los cambios eventuales fue deficiente, lo que afectó negativamente la capacidad de la empresa para ajustarse a imprevistos y mantener el ritmo de trabajo planificado. Estos problemas, en conjunto, contribuyeron a un retraso en la puesta en marcha del sector y a la necesidad de replantear la estrategia de planificación y control de los trabajos.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos

Gráfico 1-1
Gráfico avances reales vs planificados.

1.4.1. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

Para lograr una solución a este problema encontrado en la organización, debemos crear una nueva planificación empleando la metodología CPM-PERT. Los objetivos principales de esta metodología son:

- a) **Identificar camino critico:** La idea es encontrar la secuencia de actividades que determina la duración mínima del proyecto, así podremos enfocarnos en las actividades que no tienen margen de demora frente al resto.
- b) **Optimización de recursos:** Al identificar las actividades críticas y las que tienen holgura, podemos redistribuir recursos (humanos, financieros y materiales) de manera más eficiente para asegurar que el proyecto se complete dentro del plazo establecido.
- c) **Planificación y programación:** Mediante la creación de un diagrama de red, se puede visualizar la secuencia lógica de las actividades, sus dependencias y los tiempos estimados.
- d) **Evaluación y mitigación de riesgos:** Al facilitar la identificación de riesgos potenciales en el proyecto al destacar las actividades críticas y sus interdependencias. Nos permitirá desarrollar estrategias de mitigación.
- e) **Monitoreo y control del progreso:** Al comparar el progreso real con el planificado podemos identificar desviaciones y tomar medidas correctivas, para dar una mayor visualización de esto podemos utilizar graficas como la curva S. Además, cada involucrado en el proyecto podrán tener una clara comprensión de las tareas, responsabilidades y plazos.

Al utilizar PERT, podremos realizar estimaciones probabilísticas de las duraciones de las actividades, así como la probabilidad de que estas se terminen en un tiempo X, dándonos la posibilidad de simular la mejor forma de programar estas actividades para asegurar un porcentaje alto de aprobación. La herramienta que se utilizaran como base para la metodología CPM-PERT es Gantt Project.

2. JERARQUIZACIÓN DE ACTIVIDADES

2.1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA JERARQUIZACIÓN

El concepto de jerarquización de actividades hace referencia al proceso de organizar y clasificar ya sea personas, ideas, elementos o tareas en un orden de importancia o prioridad. Este proceso implicaría el establecer una estructura en la que cada elemento ocupa un determinado nivel con respecto a los demás, clasificándolos desde un nivel prioritario hasta el menos significativo. Para esto se deben establecer criterios con los cuales se puedan evaluar la importancia de cada actividad, permitiendo así la facilitación de la toma de decisiones.

La jerarquización tiene varias áreas de aplicación, esta puede ser abordada de forma organizacional en empresas otorgando una estructura de mando donde los niveles superiores tienen mayor autoridad y responsabilidad. También en la gestión de proyectos, priorizando tareas de manera que las actividades críticas o de mayor valor sean realizadas en primer lugar.

Existen una multitud de metodologías y herramientas que se utilizan para jerarquizar distintos elementos en diversos contextos. Ejemplos claros son la matriz de criticidad que clasifica activos, riesgos o tareas en función de su probabilidad de falla y su impacto, su aplicación es principalmente en el mantenimiento predictivo, gestión del riesgo y planificación estratégica; en la misma área se encuentra el análisis Jackknife como un método estadístico utilizando estudios de muestreo y simulación. A un nivel organizacional dentro de las empresas, se podría incluir el análisis FODA como una forma de jerarquización, ya que, con él podemos identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Priorizando las áreas que necesitan atención y desarrollo.

Para la realización de este escrito se plantea utilizar dos metodologías/herramientas, para la jerarquización de las tareas a un nivel macro se utilizará la matriz de Eisenhower con cambios específicos para que este se alinee con el objetivo y metas de este escrito. En segundo lugar, se usará la metodología PERT-CPM que se abordara en el segundo capítulo, con esta última es posible identificar la ruta crítica de la puesta en marcha de las tareas de mantenimiento, jerarquizando así las tareas en función de su impacto en el tiempo total del proyecto permitiendo un correcto uso de los recursos de la empresa.

2.1.1. MATRIZ EISENHOWER

2.1.1.1. ANTECEDENTES MATRIZ EISENHOWER

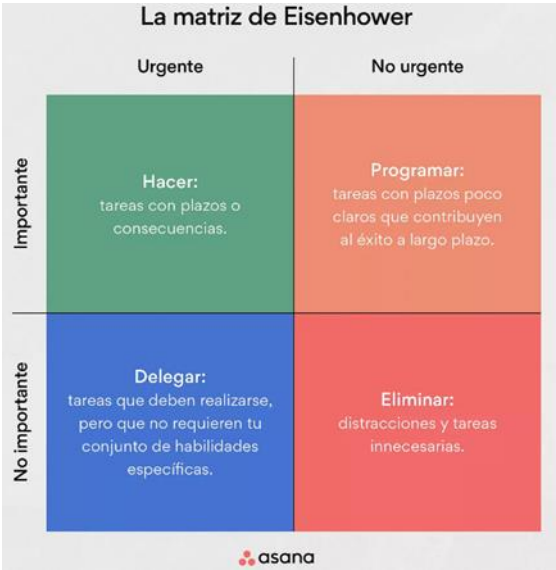
La matriz Heinsenhower es una herramienta de gestión del tiempo que permite ayudar a priorizar tareas o actividades según la urgencia o importancia que esta tenga. Su nombre es un homenaje al ex presidente de los Estados Unidos, Dwight Eisenhower, quien presento la idea que originó la matriz.

La principal meta de la matriz es el de priorizar las tareas y actividades basándose en dos criterios clave:

- **Importancia:** Es el grado en que una tarea o actividad contribuye a los objetivos del proyecto.
- **Urgencia:** El tiempo que se dispone para realizar una tarea o actividad antes de que esta pierda su relevancia o cause consecuencias.

La matriz de Eisenhower se representa como una tabla de cuatro cuadrantes, a cada uno se le representa una combinación diferente de importancia y urgencia.

- **Cuadrante I Hacer:** En esta parte de la matriz se deben de colocar las actividades que son urgentes e importantes, estas tareas se deben completar lo más pronto posible ya que, presentan claras consecuencias y afectan los objetivos del proyecto.
- **Cuadrante II Planificar:** Para este cuadrante se deben de colocar las actividades que no son urgentes, pero son importantes para los objetivos del proyecto a largo plazo. Usualmente estas tareas tienen un mayor margen de planificación.
- **Cuadrante III Delegar:** En el tercer cuadrante se deben colocar las tareas que son urgentes pero que no son importantes. Estas tareas se deben realizar pronto, pero no afectan los objetivos a largo plazo. Como su nombre dicta, usualmente estas tareas se delegan a terceros.
- **Cuadrante IV Postergar:** En el último cuadrante se deben colocar las tareas que no tomaron lugar en los primeros tres, son tareas que no son urgentes ni importantes que se pueden postergar o eliminar, dependiendo del contexto.



Fuente: Asana (2024), Asana (<https://asana.com/es/resources/eisenhower-matrix>)

Figura 1-5
Matriz Eisenhower.

2.1.2. APLICACIÓN MATRIZ EISENHOWER

Con el objetivo de crear una correcta planificación y programación de las tareas de mantenimiento se debe modificar la matriz Eisenhower de una manera que satisfaga lo que se requiere. A continuación, se presenta la propuesta utilizada.

Para que la matriz cumpla con su objetivo y contribuir a la planificación utilizando la metodología PERT-CPM, es necesario definir lo que es urgencia e importancia para el contexto actual del escrito.

2.1.2.1. URGENCIA

Se propone que urgencia para este contexto este basado en el tiempo disponible antes de que una tarea necesite ser completada, o la inmediatez con la que una acción debe ser tomada para evitar problemas mayores. Como el proyecto actual es acotado en el tiempo, el criterio urgencia será evaluado a partir del tiempo que se necesita para la finalización de una actividad de mantenimiento, ya que a medida que transcurra el tiempo se agregaran nuevas tareas, por lo que es indispensables que las 134 tareas actuales se realicen lo antes posible para evitar atrasos. Lo que se plantea es que los recursos de la organización se concentren en estas tareas para que, de ser posible, minimice el riesgo de atraso. Se debe destacar que por ningún motivo estas tareas deben ser un “foco de hacinamiento” en cuanto a los recursos distribuidos. Es decir, el hecho de asignar un alto número de recursos no significa un aumento en la eficiencia del trabajo.

Las actividades serán clasificadas en Urgentes y no urgentes, utilizando el promedio como clasificación. Si las tareas cuentan con un tiempo de realización superior al promedio se evaluarán como urgentes, de lo contrario serán evaluadas como no urgente.

Sea:

- $x_i = \text{Valor de la actividad } i$
- $\bar{x} = \text{Promedio de todos los valores}$

Clasificación:

- Si $x_i \geq \bar{x}$, La actividad i es Urgente
- Si $x_i < \bar{x}$, La actividad i es No urgente

Fórmula:

$$Urgencia(x_i) = \begin{cases} Urgente, & \text{si } x_i \geq \bar{x} \\ No urgente, & \text{si } x_i < \bar{x} \end{cases}$$

Cálculo del promedio:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

2.1.2.2. **IMPORTANCIA**

Para el concepto de importancia, se propone utilizar una evaluación de criterios. Lo común es que estas tareas de mantenimiento generen algún impacto, ya sea durante la puesta en marcha o como consecuencia de no llevarlas a cabo. A continuación, se enumeran los criterios que se utilizarán evaluados:

- i. **Impacto operacional:** Es el efecto que tiene un evento, falla o actividad sobre las operaciones diarias de una empresa o sistema productivo. Como consecuencias tenemos la reducción de producción, interrupciones en la cadena de suministros, aumento de costos operativos:
 - a. Alto: La falta de mantenimiento de este trabajo resultará en una parada inmediata de la actividad principal del proceso o en una significativa disminución de su capacidad (3 puntos).
 - b. Medio: La falta de mantenimiento de este trabajo causará una reducción en la eficiencia de la actividad o afectará a una parte secundaria del proceso (2 puntos).
 - c. Bajo: La falta de mantenimiento de este trabajo tendrá un impacto mínimo o nulo en la actividad (1 punto).

 - ii. **Impacto SHA:** Es el efecto que tiene un evento, falla o actividad sobre la seguridad, higiene y ambiente dentro de una instalación o planta. Como consecuencias tenemos los riesgos de seguridad, incumplimiento de normativas, contaminación ambiental, interrupción operacional:
 - a. Alto: riesgo alto para la seguridad, higiene, o medio ambiente si no se ejecutan adecuadamente. La falta de atención a estas actividades podría resultar en accidentes graves, lesiones, daños irreversibles al entorno, o incumplimiento de normativas legales. (3 puntos).
 - b. Medio: Riesgo moderado para la seguridad, higiene, o medio ambiente. El impacto negativo es moderado, pero la falta de atención aún puede afectar la salud de las personas o causar problemas en el entorno si no se realiza correctamente. (2 puntos).
 - c. Bajo: riesgo bajo o insignificante para la seguridad, higiene, o medio ambiente. Su ejecución y la falta de atención no tiene un impacto directo y significativo en la salud o en el entorno, y la seguridad. (1 punto).

 - iii. **Complejidad de ejecución:** Se refiere al grado de dificultad asociado a la realización de una actividad. Puede estar influenciada por varios factores, como los conocimientos técnicos necesarios, los procedimientos, la coordinación, etc).
- La evaluación de los criterios son los siguientes:

- a. Alto: El trabajo de mantenimiento es técnicamente complejo y requiere habilidades especializadas, herramientas especiales o un tiempo considerable para completarse (3 puntos).
- b. Medio: El trabajo de mantenimiento requiere habilidades y conocimientos moderados, y puede necesitar algunas herramientas especializadas, pero no es extremadamente complejo ni consume mucho tiempo (2 puntos).
- c. Bajo: El trabajo de mantenimiento es sencillo, requiere habilidades básicas y herramientas comunes, y puede completarse rápidamente (1 puntos).

Sea:

- $IO = \text{Impacto operacional}$
- $SHA = \text{Impacto en seguridad, higiene y ambiente}$
- $CT = \text{Complejidad del trabajo}$

Formula:

$$\text{Nivel de importancia} = IO + SHA + CT$$

Resultados:

3-4: Baja importancia

5-6: Importante

7-9: Critico

Tabla 1-2
Jerarquización nivel de importancia

Área	Código	Tarea	Impacto operacional	Impacto SHA	Complejidad	Valor	Nivel de criticidad
Estación Booster	EBB	T1	1	2	2	5	Importante
Estación Booster	EBB	T2	3	2	2	7	Critico
Estación Booster	EBB	T3	2	2	2	6	Importante
Alimentación de agua	SUM	T4	3	2	3	8	Critico

Fuente: Muestra de los 134 trabajos dados por Fraser Alexander Limited.

Tabla 1-3
Jerarquización nivel de urgencia

Área	Código	Tarea	Tiempo Pesimista (Días)	Tiempo Probable (Días)	Tiempo Optimista (Días)	Total PERT	Urgencia
Estación Booster	EBB	T1	5,625	5	4,375	5	Alta
Estación Booster	EBB	T2	1,75	1,25	1	1,3	Baja
Estación Booster	EBB	T3	5	4,38	3,75	4,38	Alta
Alimentación de agua	SUM	T4	3	2,25	1,75	2,29	Baja

Fuente: Muestra de los 134 trabajos dados por Fraser Alexander Limited.

Como se menciona, las tareas solo son una muestra del total de trabajos que se deben completar, las tareas que se muestran en la tabla son las siguientes:

T1: La caja de conexión del motor de las bombas de agua de sello PP-4016 y PP-4015 se encuentra en altura y sin plataforma. Se recomienda instalar una plataforma fija o móvil para poder acceder a la caja de conexiones del motor.

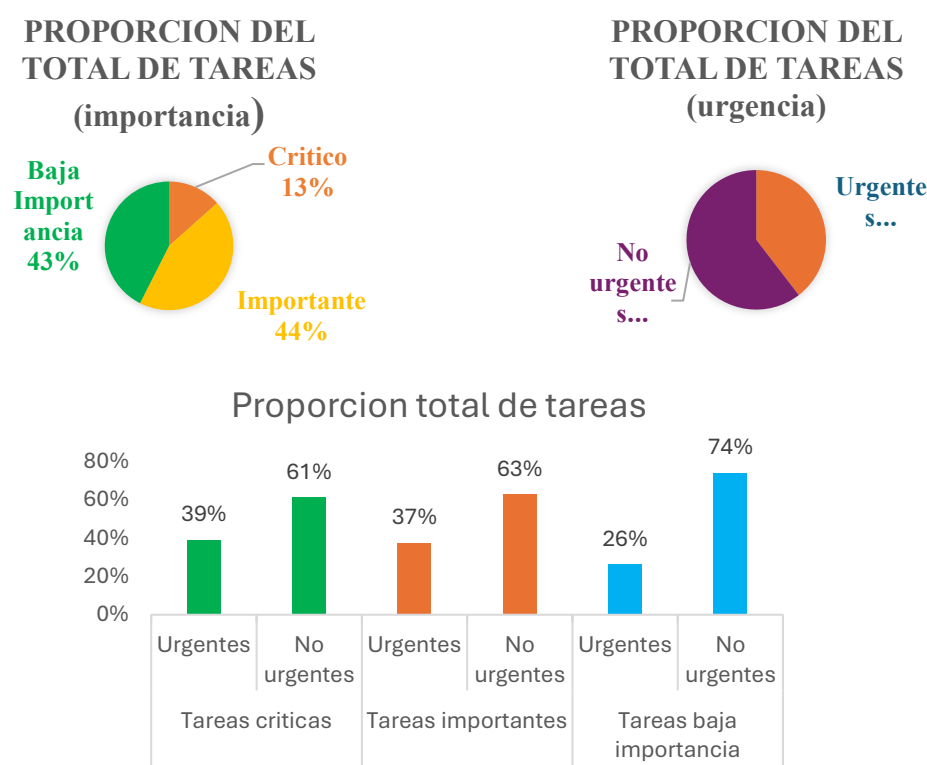
T2: Válvulas HV-1060 y HV-1062 requieren lubricación y presentan fuga por el cuerpo de la válvula en la parte del asiento. Se recomienda realizar mantenimiento y cambiar sellos.

T3: Existen canalizaciones eléctricas tipo Conduit que se encuentran por debajo del nivel del pretil de contención del estanque. Se recomienda reubicar canalización eléctrica al borde superior del pretil de contención.

T4: TK-4002 presenta parche de reparación por fuga en primer llenado, según lo comentado por personal de R&Q. Se recomienda realizar ensayos no destructivos para inspección de soldadura, tales como: test de líquido penetrante, ultrasonido o radiografía.

2.1.2.3. RESULTADOS DE LA JERARQUIZACIÓN

Gráfico 1-2
Resultados de jerarquización.



Fuente: Elaboración propia en base a la información entregada por Fraser Alexander

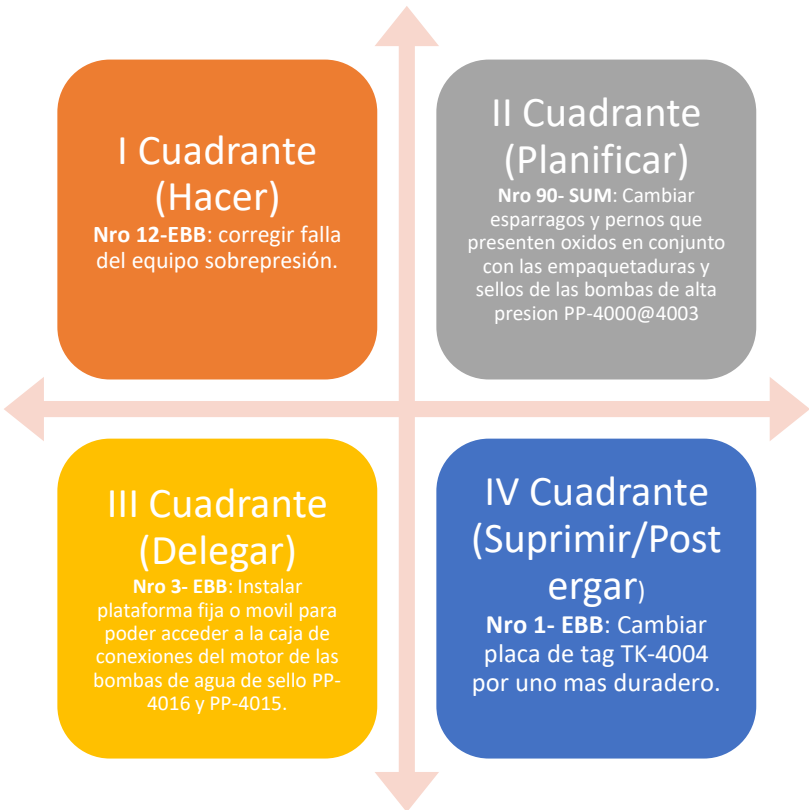
Como se puede observar en los resultados de la evaluación de los criterios, un 43% de las tareas de mantenimiento se catalogaron como baja importancia, 44% se catalogaron como importantes y solo un 13% de estas se catalogaron como crítico. Esto asegura varios beneficios a la hora de planificar:

Optimización de Recursos: Al identificar que solo el 13% de las tareas son críticas, se pueden asignar recursos y esfuerzos de manera más eficiente, concentrándose en las actividades que realmente pueden afectar el cronograma del mantenimiento. Esto asegura que los recursos no se desperdicien en tareas de menor importancia al inicio de la puesta en marcha.

Margen de Maniobra: Las tareas importantes y de baja importancia, que constituyen el 44% y 43% respectivamente del total de tareas, ofrecen una mayor flexibilidad en la programación. Esto permite ajustar los tiempos y las fechas para su realización.

Manejo de riesgos: La jerarquización permite que los riesgos asociados a las tareas críticas e importantes se evalúen y gestionen de manera prioritaria dependiendo de la urgencia.

Figura 1-6
Muestra de la matriz Eisenhower.



Fuente: Muestra de los resultados de la matriz Eisenhower. Elaboración propia.

CAPÍTULO 2: APLICACIÓN METODOLOGÍA PERT-CPM.

3. ANTECEDENTES GENERALES

3.1. METODOLOGÍA PERT-CPM

La metodología PERT (Program Evaluation and Review Technique) se desarrolló en 1957 por la oficina de Proyectos Especiales de la marina de los Estados Unidos, para ayudar a planificar y controlar el complejo programa de desarrollo de misiles balísticos Polaris, basándose en la probabilidad de la duración de las actividades del proyecto.

El desarrollo de PERT se llevó a cabo en colaboración con la división de Sistemas de Misiles Lockheed y la consultora Booz, Allen & Hamilton. Este enfoque permitió a los gestores de proyectos identificar las interdependencias entre las distintas actividades y calcular la duración total del proyecto, optimizando así tanto el tiempo como los costos. La implementación de PERT resultó en una finalización del proyecto dos años antes de lo previsto, lo que subrayó su efectividad y utilidad en la gestión de proyectos complejos.

Por otro lado, el método CPM (Critical Path Method) fue desarrollado de forma independiente en 1957 por R. Walker de la empresa DuPont y E. Kelley de Remington Rand. El CPM supone una compensación entre el tiempo y el costo de las actividades, a diferencia del PERT que se basa únicamente en los tiempos.

Aunque al principio PERT y CPM tenían diferencias importantes, con el tiempo ambas técnicas se han fusionado y hoy en día se habla de PERT/CPM como un método integrado que utiliza el control de tiempos de ejecución y costos para ejecutar un proyecto en el menor tiempo y costo posible.

Estos métodos perseguían las mismas metas:

1. Permitir una perspectiva integral del progreso de las distintas áreas de actividad dentro de un mismo proyecto a lo largo del tiempo, y hacer evidente la conexión entre ellas, facilitando su supervisión.
2. Señalar los puntos críticos que ponen en riesgo el alcance de la meta perseguida y así poder tomar las medidas para encontrar solución.
3. Posibilitar y valorar las alternativas de la planificación, informar de las faltas de seguridad en algunas partes del trabajo y establecer su influencia en el conjunto del proyecto.

3.1.1. PLANTEAMIENTO MATEMÁTICO PERT-CPM

El modelo PERT-CPM es un tipo de programación lineal, por lo que, su función objetivo es el poder maximizar planteada de esta manera:

$$\text{Maximizar } z = \sum_{\substack{\text{Todas las actividades} \\ \text{definidas } (i,j)}} D_{ij}x_{ij}$$

Donde:

x_{ij} : Cantidad de flujo de la actividad (i,j) , con i y j definidas

D_{ij} : Duración de la actividad (i,j) con i y j definidas

Para esto, todos los nodos poseen una restricción de no ser negativas.

Se debe destacar que el modelo es capaz de asumir tiempos de duración probabilísticos basados en las estimaciones optimista, probable y pesimista utilizando la distribución beta. A continuación, se definen estos conceptos.

3.1.1.1. DISTRIBUCIÓN BETA

La distribución beta es una función de probabilidad continua definida en el intervalo $[0, 1]$, ampliamente utilizada para modelar fenómenos que tienen un rango limitado, como las duraciones de actividades en la metodología PERT. La distribución beta permite modelar escenarios con incertidumbre, ajustándose a diferentes formas, lo que la hace adecuada para representar tiempos estimados de manera probabilística.

La fórmula que define la distribución está definida por la siguiente función de densidad:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}$$

Donde:

- $X \in [0,1]$ es la variable aleatoria (por ejemplo, el tiempo de una actividad normalizado entre un mínimo y un máximo),
- α y β son los parámetros de forma que determinan la forma de la distribución,
- $B(\alpha, \beta)$ es la función beta, una constante de normalización que garantiza que el área bajo la curva sea igual a 1, y está definida como:

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha + \beta)}$$

- $\Gamma(n)$ es la función gamma, que generaliza la factorial para números reales:

$$\Gamma(n) = (n - 1)!$$

3.1.1.2. TIEMPO DE ACTIVIDADES

- **Tiempo optimista (t_o):** El tiempo optimista es el mejor escenario posible para la duración de una actividad. Representa el tiempo mínimo en que una tarea podría completarse si todo sale según lo planificado y no ocurre ningún problema.
- **Tiempo probable (t_m):** El tiempo probable es el escenario más realista o común para la duración de una actividad. Representa el tiempo que se espera que la tarea tome bajo condiciones normales, sin problemas significativos, pero tampoco circunstancias extremadamente favorables. En la fórmula de PERT, este valor tiene el mayor peso, ya que se considera la duración más probable.
- **Tiempo pesimista (t_p):** El tiempo pesimista es el peor escenario posible para la duración de una actividad. Representa el tiempo máximo que una tarea podría tardar en completarse, considerando que ocurrieran todos los problemas y retrasos posibles.
- **Tiempo de duración promedio ($E(t)$):** En la metodología PERT, los tiempos estimados de una actividad (optimista, más probable y pesimista) pueden modelarse utilizando una distribución beta como se mencionó anteriormente, ya que este tipo de distribución permite dar más peso a ciertos valores intermedios (como el tiempo más probable), mientras que los valores extremos (optimista y pesimista) son menos probables.

Los tres valores de tiempo (t_o , t_m y t_p) se asocian a puntos clave de la distribución beta, y el tiempo esperado $E(t)$ se calcula utilizando una fórmula ponderada derivada de la distribución beta simplificada:

$$E(t) = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

- **Varianza ($Var(t)$):** a varianza σ^2 en la metodología PERT, derivada de la distribución beta, se calcula para tener una medida de la dispersión en los tiempos estimados. La fórmula de la varianza es:

$$Var(t) = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2$$

Para calcular la desviación estándar solo necesitamos sacar la raíz de la varianza:

$$Des(t) = \sqrt{\sigma^2}$$

3.2. PASOS PARA IMPLEMENTAR LA METODOLOGÍA PERT-CPM

Podemos resumir los pasos a como lo describe (Taha, 2012):

1- **Planeación, asignación y programación de recursos:**

- Determinar la problemática, el enfoque y los objetivos del proyecto.
- Identificar todas las actividades necesarias para la ejecución del proyecto.
- Definir las interrelaciones entre actividades, recursos, tiempos y costos.
- Crear una lista de actividades con su secuencia y duración, identificando las actividades precedentes y sucesoras.

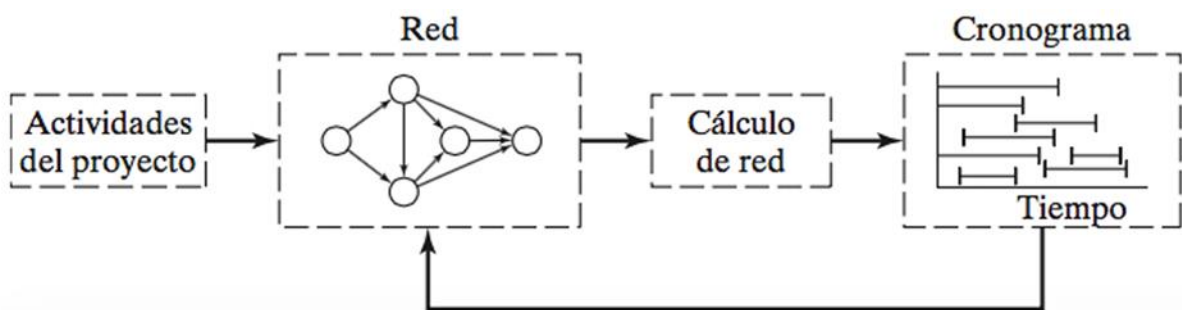
2- **Construcción de la red PERT-CPM:**

- Diagramar la secuencia de actividades del proyecto en una red que muestre los tiempos de los eventos.
- Identificar la ruta crítica (CPM), calcular las probabilidades de cumplimiento del cronograma (PERT), y determinar las holguras (tiempo extra disponible).
- Optimizar las decisiones relacionadas con la relación tiempo-costo.

3- **Ejecución, administración y control del proyecto:**

- Implementar el proyecto según el diseño óptimo de la red PERT-CPM.
- Fijar normas y criterios para asegurar la correcta distribución de los recursos y el monitoreo del avance del proyecto.
- Controlar y corregir cualquier desequilibrio o variación con respecto a lo planificado, asegurando el cumplimiento de los términos previstos.

- d. Acelerar el proyecto si es necesario, incorporando recursos adicionales para reducir la duración de la ruta crítica.



Fuente: (Taha, 2012)

Figura 2-7
Diagrama flujo de planificación de los tiempos de un proyecto.

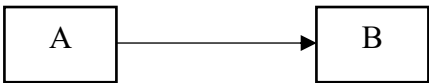
3.2.1. Reglas básicas de la construcción de un diagrama de red

Una red es un diagrama de flechas que representa las interdependencias y relaciones de precedencia entre las actividades.

Para esto, primero se deberá dividir las tareas de mantenimiento en las áreas de trabajo: Sistema Booster, Sistema de alimentación de agua y Estación de bombeo sistema de repulpeo. Se utiliza comúnmente una flecha para representar la precedencia de una actividad y la punta indica el sentido de avance. La relación de precedencia entre actividades se especificará utilizando eventos. Los puntos inicial y final de una actividad estarán definidos por los eventos de inicio y el final. Por último, los nodos representarán los eventos.

Las reglas para construir la red de las actividades de mantenimiento se resumen de la siguiente forma:

- a. Cada actividad estará representada por un nodo y las flechas indican la precedencia, la identificación primaria será con una letra o abreviatura, también puede ser identificada con una numeración, por ejemplo, T1:



Fuente: Elaboración propia en base a (Taha, 2012)

Figura 2-8
Representación de una actividad y su precedencia.

- b. La diagramación por precedencia permite cuatro tipos de dependencias entre las actividades:
 - Final a inicio: B puede comenzar cuando A termina.
 - Inicio a inicio: B no puede comenzar hasta que A comience.
 - Final a final: B no puede finalizar hasta que A no finalice.
 - Inicio a final: B no puede finalizar hasta que comience A.
- c. En el diagrama de red existirá un solo nodo origen o inicio, y un solo nodo destino o final.

A continuación, se muestra los términos asociados a cada nodo:

ES	A	EF
LS	Duración	LF

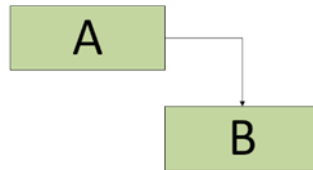
Fuente: Elaboración propia en base a (Taha, 2012)

Figura 2-9
Nodos del diagrama de red.

- ES: Fecha más temprana de comienzo (Early start)
- EF: Fecha más temprana de finalización (Early finish)
- LS: Fecha más tardía de comienzo (Late start)
- LF: Fecha más tardía de finalización (Late finish)

3.2.1.1. SECUENCIA DE ACTIVIDADES

- Relación Fin a Inicio (FS - Finish to Start): Esta es la dependencia más común. Una actividad sucesora no puede comenzar hasta que la actividad predecesora haya finalizado.

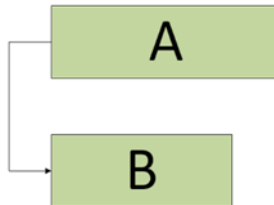


Fuente: Elaboración propia en base a (Taha, 2012)

Figura 2-10

Relación Fin a Inicio.

- Relación Inicio a Inicio (SS - Start to Start): Una actividad sucesora no puede comenzar hasta que la actividad predecesora haya comenzado. Ambas actividades pueden realizarse en paralelo, pero la segunda no puede empezar antes que la primera.

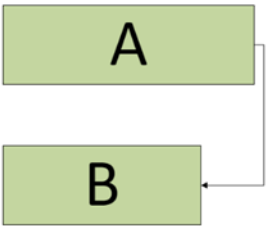


Fuente: Elaboración propia en base a (Taha, 2012)

Figura 2-11

Relación Inicio a Inicio

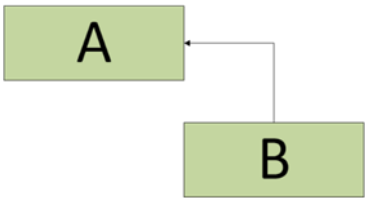
- Relación Fin a Fin (FF - Finish to Finish): La actividad sucesora no puede terminar hasta que la actividad predecesora haya terminado. Ambas actividades pueden progresar en paralelo, pero la finalización de una depende de la otra.



Fuente: Elaboración propia en base a (Taha, 2012)

Figura 2-12
Relación Fin a Fin.

- Relación Inicio a Fin (SF - Start to Finish): Este tipo de relación es el menos común. La actividad sucesora no puede finalizar hasta que la actividad predecesora haya comenzado.



Fuente: Elaboración propia en base a (Taha, 2012)

Figura 2-13
Relación Inicio a Fin.

4. APLICACIÓN METODOLOGÍA PERT-CPM

4.1. PLANEACIÓN, PROGRAMACIÓN Y ASIGNACIÓN DE RECURSOS

Una vez identificada la necesidad de mantenimiento en el área de repulpeo, así como las tareas que se delegaron a la empresa para su realización, se determinó las actividades, la secuencia y el tiempo de cada actividad (calculado a partir de los tiempos optimista, probable y pesimista) que permiten el cumplimiento exitoso del proyecto. (Para esta parte del documento se mostrarán solamente las tareas eléctricas. Para ver el proyecto completo dirigirse al ANEXO)

Tabla 2-4
Actividades eléctricas y tiempos del proyecto

Código	N° Tarea	Secuencia	Tiempo Pesimista (Días)	Tiempo Probable (Días)	Tiempo Optimista (Días)	Total PERT (Días)
SUM	109		4	3,5	3	3,5
EBB	15	12	6	3,125	2,5	3,5
EBB	16	15	5	2,25	2	2,6667
EBB	18	16	5	4	3	4
EBR	62	18	5	4	3,75	4,1250
SUM	110	109	8	7,5	7	7,5
SUM	120	110	5	2,75	2,625	3,1042
SUM	121	120	5	2,75	2,5	3,0833
EBB	12	121	3	2,5	2	2,5

Fuente: Tareas eléctricas pertenecientes al cuadrante I matriz Eisenhower. Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Tabla 2-5
Actividades eléctricas y tiempos del proyecto.

Código	N° Tarea	Secuencia	Tiempo Pesimista (Días)	Tiempo Probable (Días)	Tiempo Optimista (Días)	Total PERT (Días)
SUM	118	62	2	1,5	0,875	1,4792
SUM	115	118	4	0,75	0,5	1,25
EBR	58	59	2	1,75	1,5	1,75
EBR	59	65	1	0,75	0,5	0,75
SUM	117	115	2	1,75	1,25	1,7083
SUM	123	117	1	0,625	0,375	0,6458
EBB	13	123	1	0,75	0,625	0,7708
EBR	65	13	4	0,75	0,5	1,25

Fuente: Tareas eléctricas pertenecientes al cuadrante II matriz Eisenhower. Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Tabla 2-6
Actividades eléctricas y tiempos del proyecto

Código	N° Tarea	Secuencia	Tiempo Pesimista (Días)	Tiempo Probable (Días)	Tiempo Optimista (Días)	Total PERT (Días)
SUM	114		6	3	2,75	3,4583
EBB	25	14	10	9	7,5	8,9167
SUM	116	114	6	3	2,25	3,375
SUM	112	116	15	9,5	9	10,3333
EBB	14	20	5	3,125	2,5	3,3333
EBB	20	21	5	3	2,5	3,25
EBB	21	23	5	2,5	2	2,8333
EBB	23	24	7	6,25	5	6,1667
EBB	22	25	6	5,625	5	5,5833
EBB	24	28	7	4,375	3,75	4,7083
EBR	60	63	8	5,625	5,375	5,9792
EBB	17	112	8	4	3	4,5
EBB	28	17	6	4	3,75	4,2917
EBR	63	22	5	3	2	3,1667

Fuente: Tareas eléctricas pertenecientes al cuadrante III matriz Eisenhower. Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

4.1.1. CONSTRUCCIÓN DE LA RED PERT-CPM

En esta etapa, a partir de la información que se encuentra en la Tablas (2-4, 2-5, 2-6) se procede a diagramar la red PERT-CPM, dibujando los respectivos nodos o eventos. Como se describió anteriormente, estos nodos representan el flujo de las actividades del proyecto, permitiendo observar una ilustración global y secuenciada de las tareas de mantenimiento.

A continuación, en la figura 2-14, se presenta el diagrama de las tareas de mantenimiento utilizando la página web Lucid chart.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa

Figura 2-14
Diagrama de red tareas eléctricas en horas.

El siguiente paso consiste en calcular los tiempos de los eventos (tabla 2-7), una vez que se ha determinado el tiempo de duración promedio ($E(t)$) y una vez diagramada la red PERT-CPM, estos son:

- a) ES (Early Start):** Es el tiempo más temprano en el que una actividad puede comenzar, considerando que todas las actividades predecesoras se han completado en el menor tiempo posible.
Al calcular los tiempos en el diagrama de CPM, se parte de una fecha inicial (generalmente 0) y se va sumando la duración de cada actividad para calcular el inicio temprano de las actividades sucesoras.
El ES de una actividad que tiene una única predecesora es el EF de esa predecesora. Para actividades con múltiples predecesoras, el ES es el mayor EF de todas sus predecesoras.

- b) EF (Early Finish):** Es el tiempo más temprano en el que una actividad puede terminar si se inicia en el ES y se ejecuta sin retrasos.

Permite determinar los tiempos mínimos para completar las actividades y, en última instancia, el proyecto.

Se obtiene sumando la duración de la actividad al ES como se muestra en la siguiente formula:

$$EF = ES + Duración$$

- c) LS (Late Start):** Es el tiempo más tardío en el que una actividad puede comenzar sin retrasar el plazo final del proyecto.

Este valor se calcula durante el "camino de regreso" en el diagrama, partiendo desde la fecha de finalización del proyecto y retrocediendo.

El LS de una actividad sin sucesores es igual a su LF. Para actividades con múltiples sucesores, el LS es el menor valor de LS de sus sucesores menos la duración de la actividad.

- d) LF (Late Finish):** Es el tiempo más tardío en el que una actividad puede finalizar sin retrasar la fecha de terminación del proyecto.

Determina el margen de tiempo para completar actividades sin afectar la ruta crítica.

Para actividades sin sucesores, LF es igual al tiempo total del proyecto. Para aquellas con sucesores, LF es el menor LS de sus sucesores.

Resumen de cálculos y usos:

- Camino hacia adelante (Forward Pass): Calcula ES y EF, identificando los tiempos mínimos para cada actividad.
- Camino hacia atrás (Backward Pass): Calcula LS y LF, determinando los márgenes de flexibilidad y la ruta crítica.

Estos cuatro tiempos ayudan a visualizar el tiempo total del proyecto, a identificar holguras y a trazar la ruta crítica, que es el conjunto de actividades sin flexibilidad en sus tiempos de inicio y fin.

Tabla 2-7
Tiempos más próximos y tardíos de las tareas de mantenimiento.

Nº Actividad	Tiempo más temprano EF	Tiempo más tardío LF
12	19,85	45,99
13	39.94	66.15
14	46.26	46.26
15	23.35	49.49
16	26.02	42.16
17	21.67	21.67
18	30	56.16
20	43	43
21	39.7	39.7
22	60.76	60.76
23	36.8	36.8
24	60.68	30.68
25	55.18	55.18
28	26	26
58	43.69	43.69
59	41.94	68.15
60	65,2375	65,2375
62	32,65	56,675
63	63.9	63.9
65	41.2	67.4
109	3.67	29.81
110	11.17	37.31
112	15,1625	15,1625
114	3,125	3,125
115	34,875	58,9
116	6.835	6.835
117	38.6	64.73
118	35.63	61.77
120	14.27	40.41
121	17.35	43.49
123	39.24	65.38

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Ahora bien, la Ruta Crítica es una secuencia de actividades en un proyecto que determina el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto. Es la serie de tareas que, si se retrasan, provocan automáticamente un retraso en la finalización del proyecto. Esto se debe a que las actividades en la ruta crítica no tienen holgura o margen de tiempo adicional: cualquier cambio en sus tiempos de inicio o fin afecta directamente el plazo total del proyecto.

Las principales características de la ruta crítica son las siguientes:

- **Duración del Proyecto:** La duración total del proyecto es igual a la suma de las duraciones de las actividades en la ruta crítica, ya que esta ruta representa el "camino más largo" en tiempo a través del cronograma.
- **Holgura Cero:** Las actividades en la ruta crítica no tienen holgura (es decir, tiempo extra). Si alguna de estas actividades se retrasa, el proyecto en su totalidad también se retrasará.
- **Dependencias y Secuencia de Actividades:** La ruta crítica depende de las relaciones de dependencia entre actividades (por ejemplo, "Inicio a Inicio" o "Final a Inicio") y de las duraciones de cada actividad. Estos factores afectan la secuencia en la que las tareas deben realizarse para evitar retrasos.

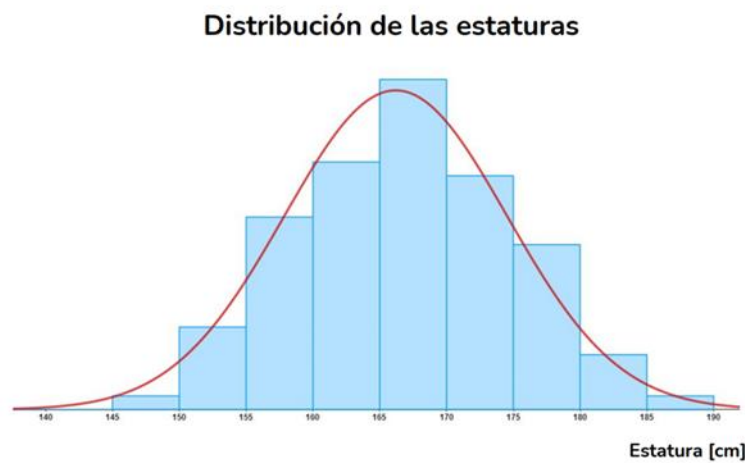
Una forma fácil de visualizar la ruta crítica sin necesidad de utilizar algún software que facilite el proceso es hacer una tabla de los tiempos más temprano y tardíos como se muestran en la tabla 2-7. Posteriormente solo debemos marcar las actividades que tengan el mismo tiempo en ambas columnas (EF y LF).

Como se puede apreciar, la ruta crítica establecida para las tareas eléctricas de mantenimiento sigue la trayectoria de actividades 14, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 58, 60, 63, 112, 114, 116; siendo los tiempos correspondientes a cada actividad 3,33 / 4,5 / 3,25 / 2,833 / 5,58 / 6,1667 / 4,7083 / 8,9167 / 4,2917 / 1.75 / 5,9792 / 3,1667 / 10,333 / 3,4583 / 3,3750 Sumando un total de 72 días. En consecuencia, la administración necesita priorizarlas y garantizar su ejecución, sin descuidar, por supuesto, el cumplimiento de las otras actividades previstas.

4.2. PROBABILIDAD DE TÉRMINO DEL PROYECTO.

La probabilidad de término de un proyecto es una estimación del grado de certeza de completar un proyecto en un tiempo específico, lo cual es crucial para la toma de decisiones en

gestión de proyectos. En la metodología PERT (Evaluación de Programas y Revisión Técnica), se utiliza la distribución normal para calcular la probabilidad de que el proyecto finalice antes de una fecha límite. Esto se debe a que la distribución de los tiempos de los eventos sigue aproximadamente una curva normal, especialmente cuando se cuenta con varias actividades interdependientes.



Fuente: Apuntes unidad 3, Aula360, curso probabilidad y estadística descriptiva, universidad de Chile.

Figura 2-15
Ejemplo de histograma junto a la curva que grafica la distribución normal.

4.2.1. PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE TERMINO.

a. Cálculo del tiempo esperado del proyecto (E(T)):

Se calcula sumando los tiempos esperados de las actividades en la ruta crítica, usando la formula:

$$E(T) = \sum_{i \in \text{ruta crítica}} E(t)_i$$

b. Cálculo de la desviación estándar del proyecto (σ):

Se obtiene sumando las varianzas de las actividades de la ruta crítica y calculando su raíz cuadrada:

$$\sigma_{proyecto} = \sqrt{\sum_{i \in \text{ruta crítica}} Var(t_i)}$$

La varianza de cada actividad se calcula como:

$$Var(t_i) = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2$$

Donde t_p es el tiempo pesimista y t_o es el tiempo optimista de la actividad.

c. Cálculo del puntaje Z:

Para conocer la probabilidad de finalizar el proyecto antes de una fecha objetivo $T_{objetivo}$, se usa el valor Z de la distribución normal, que se obtiene con la formula:

$$Z = \frac{T_{objetivo} - E(T)}{\sigma_{proyecto}}$$

Este valor de Z indica cuantas desviaciones estándar está el tiempo objetivo por encima o por debajo del tiempo esperado del proyecto.

d. Determinación de la probabilidad:

El valor de Z se consulta en una tabla de distribución normal estándar para obtener la probabilidad acumulada, que indica la probabilidad de que el proyecto termine antes de la fecha objetivo.

z_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	z_0
0,0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359	0,0
0,1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753	0,1
0,2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141	0,2
0,3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517	0,3
0,4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879	0,4
0,5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224	0,5
0,6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549	0,6
0,7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852	0,7
0,8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133	0,8
0,9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389	0,9
1,0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621	1,0
1,1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830	1,1
1,2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015	1,2
1,3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177	1,3
1,4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319	1,4
1,5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441	1,5
1,6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545	1,6
1,7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633	1,7
1,8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706	1,8
1,9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767	1,9
2,0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817	2,0
2,1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857	2,1
2,2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890	2,2
2,3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916	2,3
2,4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936	2,4
2,5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952	2,5
2,6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964	2,6
2,7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974	2,7
2,8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981	2,8
2,9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986	2,9
3,0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900	3,0
3,1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929	3,1
3,2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950	3,2
3,3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965	3,3
3,4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976	3,4
3,5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983	3,5
3,6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989	3,6
3,7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992	3,7
3,8	0.99993	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995	3,8
3,9	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997	3,9

Fuente: [Normal Estándar N \(0,1\). Uso de las tablas - Matemáticas IES.](#)

Figura 2-16
Tabla de la distribución normal N (0,1) para probabilidad acumulada inferior.

4.2.1.1. **EJEMPLO DE LA BÚSQUEDA DE PROBABILIDAD.**

Supongamos que Z=1.23

- Se busca en la fila 1.2
- Luego en la columna 0.03

El cruce de fila y columna da el valor de la probabilidad.
El número que se aprecia en la tabla es la probabilidad acumulada desde el extremo izquierdo (menos infinito) hasta el valor Z.
En el caso de este ejemplo, si la tabla da 0.8907, significa que el 89,07% de la distribución está por debajo del valor Z.

4.2.2. RESULTADOS CÁLCULO DE PROBABILIDADES DE TÉRMINO DEL PROYECTO.

- a. Tiempo esperado del proyecto: 72 días.
- b. Desviación estándar del proyecto: 2,04 días

Tabla 2-8
Probabilidades para 3 alternativas de cumplimiento de las tareas eléctricas.

Alternativa	Datos	Planteamiento valor Z	Respuesta
El proyecto termina en 70 días	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 2,04$ $x = 70 \text{ dias}$ $\mu = 72 \text{ dias}$	$z = \frac{70 - 72}{2,04}$	La probabilidad de que las tareas eléctricas termine el día 70 es de 16.35%.
Si el nivel de confianza es del 95 % se quiere saber el tiempo de duración del proyecto.	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 2.04$ $z = 1.64$ $\mu = 72 \text{ dias}$	$x = (1.64 * 2.04) + 72$	Con un nivel de confianza del 95% las tareas eléctricas terminan luego de 75,35 días.
Si el nivel de confianza es del 97 % se quiere saber el tiempo de duración del proyecto.	$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 2.04$ $z = 1.88$ $\mu = 72 \text{ dias}$	$x = (1.88 * 2.04) + 72$	Con un nivel de confianza del 97% las tareas eléctricas terminan luego de 75,84 días.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Como se puede apreciar en la tabla, el para que el proyecto pueda finalizar con una confianza del 97% es necesario contar con 76 días. Como se dijo anteriormente, esto viene determinado por el camino crítico del proyecto.

El objetivo principal de conocer la probabilidad de término del proyecto es evaluar la incertidumbre en la duración total del proyecto y determinar la viabilidad de cumplir con los plazos establecidos. Esto permite a los gestores:

Tomar decisiones informadas sobre la planificación: Identificar si el proyecto puede finalizar dentro del plazo contractual o si es necesario ajustar actividades, recursos o costos para asegurar su cumplimiento.

Gestionar riesgos y establecer planes de contingencia: Estimar la probabilidad de retrasos y diseñar estrategias para mitigar su impacto en el cronograma general.

Optimizar la asignación de recursos: Al conocer las probabilidades asociadas a distintos escenarios de finalización, es posible priorizar la asignación de recursos en actividades críticas que mejoren la probabilidad de cumplir con la fecha objetivo.

Cumplir con expectativas del cliente y evitar penalizaciones: Garantizar que el proyecto se complete dentro del tiempo acordado para mantener una buena relación con el cliente y evitar costos adicionales asociados a retrasos.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO

5. ANTECEDENTES GENERALES.

5.1. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN DE COSTOS

La gestión de costos en proyectos es esencial porque determina la viabilidad financiera del proyecto, su eficiencia operativa y la capacidad de cumplir con los plazos establecidos. Los costos directos (como lo son la mano de obra y materiales) representan una parte significativa del presupuesto y deben gestionarse cuidadosamente para evitar desviaciones que puedan comprometer tanto el éxito del proyecto como la percepción del cliente. La gestión de costos es particularmente importante porque, aunque el presupuesto es flexible, existe un cumplimiento del plazo, y lograr que el proyecto culmine antes es crítico para lograr una buena impresión en el cliente y posicionarse para futuros contratos. Una gestión eficiente permitirá maximizar los recursos disponibles, reducir tiempos críticos, y minimizar costos adicionales que podrían surgir durante la ejecución del proyecto.

Existen dos enfoques principales para considerar los costos en PERT-CPM:

- a. Costos estándar o normales: Los costos asociados a ejecutar cada actividad en el tiempo planificado originalmente.
- b. Costos de aceleración: Los costos adicionales necesarios para reducir la duración de una actividad y, con ello, acortar el plazo total del proyecto.

El concepto clave en la integración de costos en PERT-CPM es que acelerar una actividad (reducir su duración) generalmente aumenta los costos, mientras que extender la duración puede reducirlos.

5.2. COSTOS ASOCIADOS A MANO DE OBRA.

Los costos de mano de obra representan uno de los componentes esenciales en cualquier proyecto de ingeniería. Este costo se refiere al gasto total asociado con el empleo de trabajadores para llevar a cabo tareas específicas dentro de un proyecto. Incluye tanto los salarios directos como los costos indirectos, como beneficios legales, aportes previsionales y otros gastos asociados al empleo.

El costo de mano de obra está regulado por diversas normativas laborales que garantizan un salario mínimo, el pago de horas extras y el acceso a beneficios sociales, como cotizaciones previsionales y de salud. Para el cálculo se utilizará el sueldo bruto aproximado.

A continuación, se muestra el sueldo bruto mensual de la mano de obra que cuenta la empresa SALCO para la realización de sus trabajos:

Tabla 3-9
Costo mensual mano de obra.

Cargo	Dotación	\$	Total
Supervisor de terreno	2	\$2.449.764	\$4.899.528
Mecánico soldador	4	\$1.509.089	\$6.036.356
Eléctrico instrumentista	2	\$1.323.495	\$2.646.990
Eléctrico mantenedor	2	\$1.173.123	\$2.346.246
Maestro Primero	4	\$1.077.387	\$4.309.548
Conductor y operador camión pluma	2	\$1.888.492	\$3.776.984

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Si bien los datos de la tabla 3-9 son los entregados por la empresa, también es posible calcular la remuneración del trabajador teniendo en cuenta todos los antecedentes necesarios como se muestra en el ejemplo:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
22					Haberes imponibles	\$1.497.917		Descuentos legales	\$ 312.528
23	Sueldo base	\$1.300.000			Sueldo base	\$1.300.000		AFP	\$ 149.792
24	Gratificación	4,75 Sueldo mínimo			Gratificación	\$197.917		Salud	\$ 104.854
25	Asignación familiar	\$20.000						Seguro de cesantía	\$ 44.938
26	Colación	\$60.000						Impuesto único	\$12.945
27	Movilización	\$120.000							
28	AFP	10%						Base imponible	\$1.198.333
29	Salud	7%							
30	Seguro cesantía	3%			Haberes no imponibles	\$200.000		Otros descuentos	0
31	Impuesto único	Base imponible			Asignación familiar	\$20.000			
32					Colación	\$60.000			
33					Movilización	\$120.000			
34									
35					Total haberes	\$1.697.917		Total descuentos	\$ 312.528
36									
37								Sueldo líquido	\$1.385.388
38									

Figura 3-17
Cálculo de remuneración de un trabajador.

El valor de cada ítem se calculó con las siguientes formulas:

*Haberes imponible*s = *Sueldo base* + *Gratificación*.

Gratificación = 4,75 * *Sueldo mínimo*/12.

*Haberes no imponible*s = *Asignación familiar* + *colación* + *movilización*.

Total haberes = *Haberes imponible*s + *Haberes no imponible*s.

Descuento AFP = *Haberes imponible*s * %*AFP*

Descuento Salud = *Haberes imponible*s * %*Salud*

Descuento AFP = *Haberes imponible*s * %*AFP*

Descuento Seguro cesantía = *Haberes imponible*s * %*Seguro cesantía*

Para el cálculo de costos por hora de un trabajador se determina mediante la siguiente formula:

Costo por hora = $\frac{\text{Costo total mensual del trabajador}}{\text{Horas trabajadas al mes}}$

La jornada laboral estándar es de 45 horas semanales, equivalente a aproximadamente 180 horas mensuales. Por lo que haciendo el cálculo tenemos:

Tabla 3-10
Costos por hora.

Cargo	Dotación	Costo por hora	Total
Supervisor de terreno	2	\$ 13.609	\$27.218
Mecánico soldador	4	\$ 8.383	\$33.532
Eléctrico instrumentista	2	\$ 7.352	\$14.704
Eléctrico mantenedor	2	\$ 6.517	\$13.034
Maestro Primero	4	\$ 5.985	\$23.940
Conductor y operador camión pluma	2	\$ 10.491	\$20.982

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Tabla 3-11
Costos del personal por hora para actividades de la ruta crítica.

Actividad	Nº días	Tiempo trabajado por turnos	Tiempo de trabajo por turnos (Hrs)	Costo total
T114	4	9	36	\$989.208
T25	9	9	81	\$2.225.718
T116	3	9	27	\$741.906
T112	10	9	90	\$2.473.020
T14	3	9	27	\$741.906
T20	3	9	27	\$741.906
T21	3	9	27	\$741.906
T23	6	9	54	\$1.483.812
T22	5	9	45	\$1.236.510
T24	5	9	45	\$1.236.510
T60	6	9	54	\$1.483.812
T17	5	9	45	\$1.236.510
T28	4	9	36	\$989.208
T63	3	9	27	\$741.906

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

5.3. OTROS COSTOS ASOCIADOS

Los costos asociados a herramientas, equipos de seguridad y materiales representan una parte importante en la gestión operativa de una empresa. Los costos de herramientas incluyen la adquisición, mantenimiento o reemplazo de instrumentos necesarios para realizar los trabajos. Los costos de equipos de seguridad consideran la compra de elementos de protección personal y colectiva, necesarios para resguardar la integridad de los trabajadores. Por último, los materiales comprenden todos los insumos y componentes que se utilizan directamente en la ejecución de las tareas o servicios.

6. APLICACIÓN ANÁLISIS DE COSTOS

6.1. ANÁLISIS TIEMPO-COSTO EN LA METODOLOGÍA PERT-CPM.

El análisis tiempo-costo en la metodología PERT-CPM se centra en encontrar el equilibrio óptimo entre la duración de un proyecto y los costos asociados. En muchos casos, es posible reducir la duración total del proyecto invirtiendo recursos adicionales para acelerar ciertas actividades. Sin embargo, esta aceleración genera costos adicionales que deben evaluarse cuidadosamente para determinar si el beneficio de reducir el tiempo justifica el costo extra.

Un concepto clave en este análisis es el Costo de Aceleración por Unidad de Tiempo (Crash Cost per Unit Time, CCUT), que representa cuánto cuesta reducir una actividad en una unidad de tiempo, típicamente días. Veamos este concepto en detalle.

6.1.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL ANÁLISIS TIEMPO-COSTO.

- a. Duración Normal (D_N): Es la duración estimada en la que una actividad puede completarse bajo condiciones normales, sin incurrir en costos adicionales.
- b. Duración Acelerada (D_A): Es la duración más corta posible en la que una actividad puede completarse, pero requiere una inversión adicional significativa.
- c. Costo Normal (C_N): Es el costo asociado a realizar una actividad en su duración normal.
- d. Costo Acelerado (C_A): Es el costo asociado a realizar una actividad en su duración más corta, incluyendo todos los costos adicionales necesarios para la aceleración.

La fórmula del CCUT es la siguiente:

$$CCUT = \frac{C_A - C_N}{D_N - D_A}$$

El CCUT indica el costo adicional por cada día que reduzca la duración de una actividad. Un valor alto de CCUT indica que acelerar esa actividad es costoso, mientras que un valor bajo sugiere que la actividad puede acelerarse de forma relativamente económica.

6.1.2. EMPLEAR EL CCUT EN EL ANÁLISIS TIEMPO-COSTOS.

- a. **Identificar la Ruta Crítica:** Solo las actividades en la ruta crítica pueden afectar la duración total del proyecto. Por lo tanto, el análisis tiempo-costo debe centrarse en estas actividades.
- b. **Calcular el CCUT de las Actividades Críticas:** Se calcula el costo de aceleración por día de cada actividad crítica.
- c. **Priorizar Actividades según el CCUT:** Se seleccionan las actividades con el CCUT más bajo, ya que son las más económicas de acelerar.
- d. **Acelerar Actividades Críticas:** Reducir la duración de estas actividades para disminuir la duración total del proyecto, recalculando la ruta crítica y verificando el impacto en el tiempo total.

6.1.3. RESULTADOS CCUT.

Tabla 3-12
Costos de reducción por día en la ruta crítica.

Actividad	Tiempo normal (Días)	Tiempo acelerado (Días)	Costo normal (Días)	Costo acelerado (Días)	Costo de reducción por día
T114	4	3	\$989.208	\$ 1.296.983	\$ 307.775
T25	9	7	\$2.225.718	\$ 2.841.268	\$ 307.775
T116	3	2	\$741.906	\$ 972.737	\$ 230.831
T112	10	6	\$2.473.020	\$ 3.242.457	\$ 192.359
T14	3	2	\$741.906	\$ 972.737	\$ 230.831
T20	3	1	\$741.906	\$ 934.265	\$ 96.180
T21	3	3	\$741.906	\$ -	\$ -
T23	6	4	\$1.483.812	\$ 1.945.474	\$ 230.831
T22	5	4	\$1.236.510	\$ 1.544.285	\$ 307.775

T24	5	4	\$1.236.510	\$	1.544.285	\$	307.775
T60	6	5	\$1.483.812	\$	1.830.059	\$	346.247
T17	5	5	\$1.236.510	\$	-	\$	-
T28	4	3	\$989.208	\$	1.220.039	\$	230.831
T63	3	3	\$741.906	\$	-	\$	-

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Como se puede ver en la tabla 3-12, utilizando la formula del costo de aceleración por unidad de tiempo obtenemos el costo necesario que debemos invertir por cada día que aceleremos una tarea. En muchos proyectos, existe una relación inversa entre el tiempo de ejecución y los costos. Reducir la duración de una actividad generalmente implica costos adicionales, como:

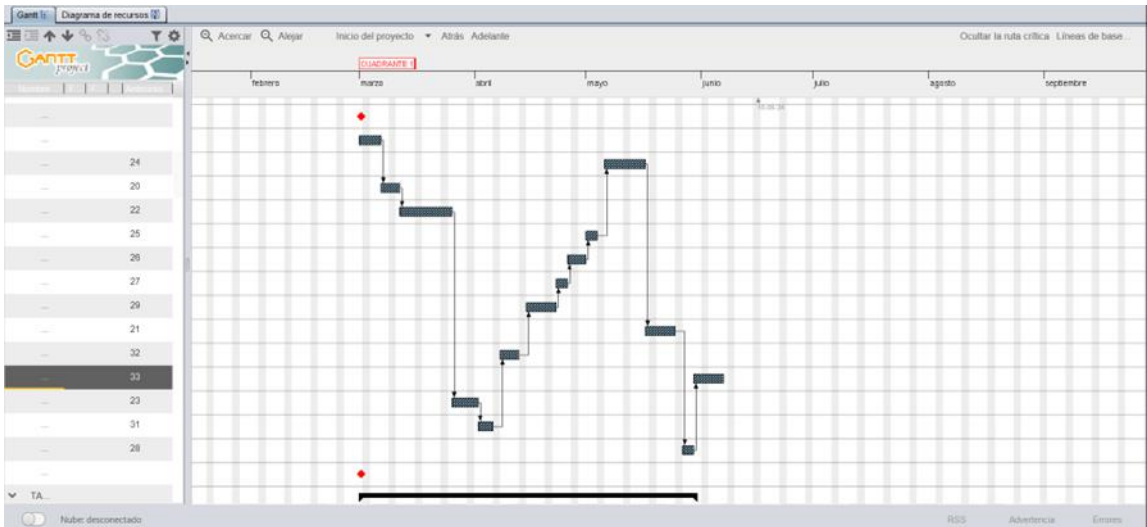
- a. Contratar personal adicional.
- b. Aumentar las horas de trabajo (horas extras).
- c. Utilizar equipos más costosos o de mayor capacidad.

Conocer el CCUT permite optimizar esta relación al identificar las actividades en las que es más económico acelerar el trabajo. Esto asegura que los recursos financieros se utilicen de manera eficiente para reducir el tiempo total del proyecto.

6.2. MEJORA DE PLANIFICACIÓN EN BASE A LOS TIEMPOS
ACELERADOS

En virtud de los acuerdos establecidos entre Fraser Alexander y la empresa SALCO, se ha planificado que la finalización del proyecto ocurra durante la última semana de mayo, específicamente entre el 25 y el 29 de dicho mes.

Sin embargo, en caso de retrasos, se aplicará una penalización de \$15.000.000 por cada semana que exceda el 29 de mayo, afectando el monto total acordado.



Fuente: Elaboración propia en Gantt Project a partir de los datos de la empresa.

Figura 3-18
Diagramación de la ruta crítica (Cuadrante III, tareas eléctricas).

Como se observa en el diagrama de Gantt, la ruta crítica del proyecto, que determina la duración total, muestra un retraso de una semana. Esto implicaría una penalización de \$15.000.000 para la empresa SALCO.

Para evitar esta pérdida, es necesario realizar ajustes en el diagrama PERT-CPM, aplicando tiempos acelerados a las actividades críticas con el objetivo de reducir su duración y, por ende, acortar el tiempo total del proyecto, de esta manera evitar la penalización.

Tabla 3-13
Cantidad de aceleraciones por actividad.

Actividad	Cantidad de aceleraciones	Costo de aceleraciones	Costo aceleración unitario
T114	1	\$ 307.775	\$ 307.775
T25	2	\$ 615.550	\$ 307.775
T116	1	\$ 230.831	\$ 230.831
T112	4	\$ 769.437	\$ 192.359
T14	1	\$ 230.831	\$ 230.831
T20	2	\$ 192.359	\$ 96.180
T21	0	\$ -	\$ -
T23	2	\$ 461.662	\$ 230.831
T22	1	\$ 307.775	\$ 307.775
T24	1	\$ 307.775	\$ 307.775

T60	1	\$ 346.247	\$ 346.247
T17	0	\$ -	\$ -
T28	1	\$ 230.831	\$ 230.831
T63	0	\$ -	\$ -

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Como se muestra en la Tabla 3-13, cada actividad cuenta con un número específico de posibles aceleraciones, las cuales implican un costo asociado por cada día de reducción. Es importante destacar que, al disminuir la duración de ciertas actividades, existe la posibilidad de que se generen nuevas rutas críticas, lo que podría modificar la planificación general del proyecto y requerir una reevaluación continua del cronograma.

6.2.1. RESULTADOS DE LA MEJORA DIAGRAMA PERT-CPM.

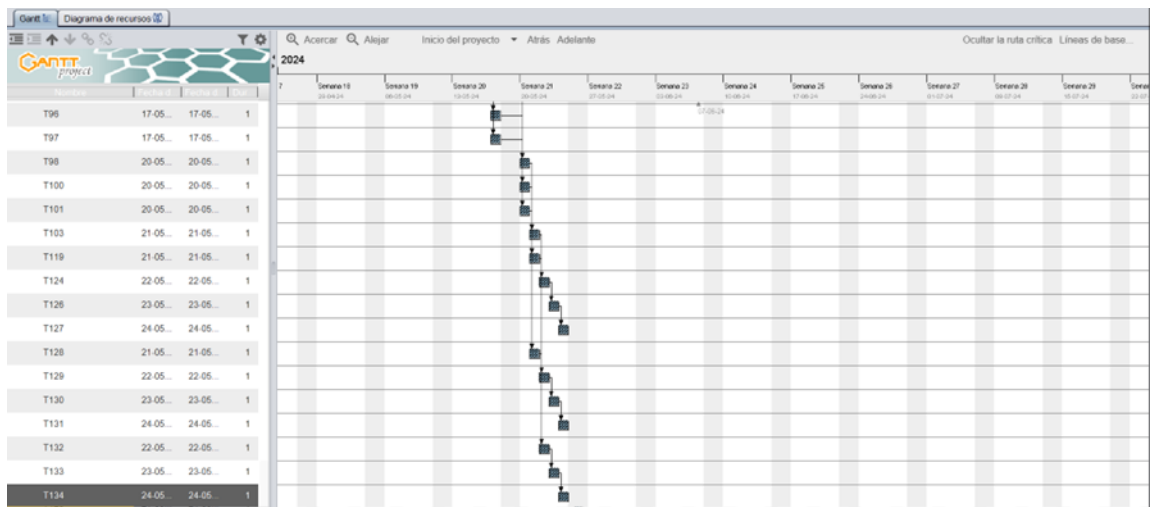
Continuando con lo anterior, para optimizar la reducción de tiempos, es fundamental priorizar aquellas actividades con el menor costo de aceleración. De este modo, se busca acortar la duración del proyecto al menor costo total posible. A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de esta estrategia:

Tabla 3-14
Actividades elegidas para realizar la aceleración.

Actividad	Cantidad de aceleraciones	Costo de aceleraciones	Costo aceleración unitario
T112	4	\$769.437	\$192.359
T20	2	\$192.359	\$96.180
T23	2	\$461.662	\$230.831
T116	1	\$230.831	\$230.831
T25	2	\$615.550	\$307.775
Total		\$2.269.839	

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa.

Con un costo total de \$2.269.839CLP la ruta crítica correspondiente a las tareas eléctricas se redujeron 2 semanas. No obstante, este cambio genero dos nuevas rutas crítica.



Fuente: Elaboración propia en Gantt Project a partir de los datos de la empresa.

Figura 3-19
Diagrama PERT-CPM (Ruta crítica, tareas mecánicas).

A pesar de la aparición de nuevas rutas críticas, la duración total del proyecto se mantiene dentro del plazo establecido en el acuerdo con Fraser Alexander, concretamente el proyecto tendría como fecha de termino el 24-05-24. Por lo tanto, no se incurrirá en penalizaciones por retraso, asegurando que el proyecto cumpla con los tiempos estipulados.

6.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO-COSTO EN LA METODOLOGÍA PERT-CPM.

La planificación de proyectos utilizando la metodología PERT-CPM (Program Evaluation and Review Technique – Critical Path Method) no solo se centra en optimizar los tiempos, sino también en gestionar eficientemente los recursos y los costos asociados. Conocer los costos totales del proyecto desde la fase de planificación es fundamental para asegurar su viabilidad económica y mantener un control financiero adecuado a lo largo de su ejecución.

Al identificar de manera precisa los costos relacionados con cada actividad, es posible evaluar distintas alternativas para optimizar la relación costo-tiempo, priorizando aquellas acciones que permitan alcanzar los objetivos en el menor tiempo y al menor costo posible. Este análisis también facilita la toma de decisiones informadas respecto a la asignación de recursos, la

contratación de personal adicional y la implementación de medidas correctivas en caso de desviaciones del cronograma original.

El manejo adecuado de las horas extraordinarias es un aspecto crítico en la gestión de proyectos bajo la metodología PERT-CPM. Si bien las horas extras pueden ser una herramienta efectiva para acelerar actividades críticas y reducir la duración total del proyecto, su uso descontrolado puede incrementar significativamente los costos operativos y afectar la rentabilidad del proyecto.

Además, el abuso de horas extraordinarias puede tener un impacto negativo en el rendimiento del equipo, generando fatiga, disminución de la productividad y un aumento en el riesgo de errores o accidentes laborales. Por ello, es esencial establecer un balance adecuado entre la necesidad de reducir tiempos y el control de los costos asociados a las horas extras, garantizando tanto la eficiencia del proyecto como el bienestar de los trabajadores.

A partir de la información proporcionada de la empresa, se evaluó el costo total de los trabajos de mantenimiento:

Tabla 3-15
Flujo total del proyecto.

Costos totales	
Ingresos del proyecto	+\$240.000.000
Herramientas	-\$9.647.500
artículos de seguridad	-\$5.759.540
Materiales	-\$35.494.500
Mano de obra	-\$82.823.778
T20	- \$192.359
T23	- \$461.662
T116	- \$230.831
T25	- \$615.550
T112	- \$769.437
Total	+\$104.004.843

Fuente: Elaboración propia a través de los datos de la empresa.

El análisis financiero del proyecto demuestra que la empresa SALCO a partir de la propuesta lograría un flujo de caja positivo, alcanzando un total de \$104.004.843 al finalizar el periodo de ejecución, si bien la penalización no hubiera afectado demasiado la ganancia, siempre debemos buscar la opción que menos pérdidas tenga. Este resultado evidencia la importancia de la gestión eficiente de los recursos y una adecuada planificación de las actividades de mantenimiento, ya que nuestro objetivo es maximizar las ganancias de la empresa gestionando los costos asociados a las actividades realizadas.

7.

CONCLUSIÓN.

El presente trabajo de título ha cumplido con los objetivos planteados al inicio, demostrando que la implementación de la metodología PERT-CPM para la planificación y programación de 134 tareas de mantenimiento en la empresa SALCO Spa resulta efectiva para optimizar los tiempos de ejecución. Mediante la jerarquización y priorización de actividades, se logró un avance significativo en la eficiencia de las actividades, permitiendo calcular la probabilidad de término de estas en diferentes plazos gracias a la aceleración de algunas actividades.

Profundizando en los objetivos de este escrito:

- a. La utilización de la matriz de Eisenhower permitió identificar y priorizar las tareas críticas que afectan directamente la continuidad operativa del proceso de repulpeo en cabecera tranque Quillayes, concentrando recursos y tiempo en aquellas que tienen mayor impacto y urgencia facilitando la planificación.
- b. La planificación en base a la metodología PERT-CPM y la utilización del software Gantt Project brindó un mayor control sobre los tiempos de ejecución y la secuencia de actividades gracias a la diagramación, generando una visualización del proyecto en general, además, al identificar la probabilidad de término del proyecto se puede analizar de mejor manera el costo total, así por ejemplo no incurrir en penalizaciones.
- c. Gracias al análisis económico utilizando la formula CCUT se identificaron las actividades que se pueden acelerar dentro de la ruta crítica, reduciendo el tiempo total del proyecto asociado a un costo extra, permitiendo maximizar las ganancias de la empresa al menor costo posible.

Este análisis pone de manifiesto la importancia de una planificación estructurada en proyectos donde una adecuada gestión del tiempo es clave para cumplir con los contratos y mantener una relación positiva con los clientes.

8.

RECOMENDACIONES.

- a. **Implementación de una base de datos:** Se recomienda desarrollar e integrar una base de datos que permita registrar y monitorear los tiempos reales de ejecución de cada tarea. Esto facilitará una planificación más precisa en futuros proyectos.
- b. **Capacitación continua:** Invertir en la capacitación del personal en herramientas de gestión de proyectos, como MS Project y técnicas avanzadas de CPM-PERT, para garantizar un uso óptimo de estas metodologías.
- c. **Evaluación periódica de los procesos:** Establecer revisiones periódicas para evaluar el desempeño del plan de mantenimiento implementado, permitiendo realizar ajustes oportunos en caso de desviaciones o cambios en las condiciones operativas.

Optimización de recursos: Considerar la contratación de un segundo grupo de trabajo en períodos críticos, lo cual permitirá reducir los cuellos de botellas en proyectos que tengan tareas más complejas y asegurar el cumplimiento de los plazos establecidos.

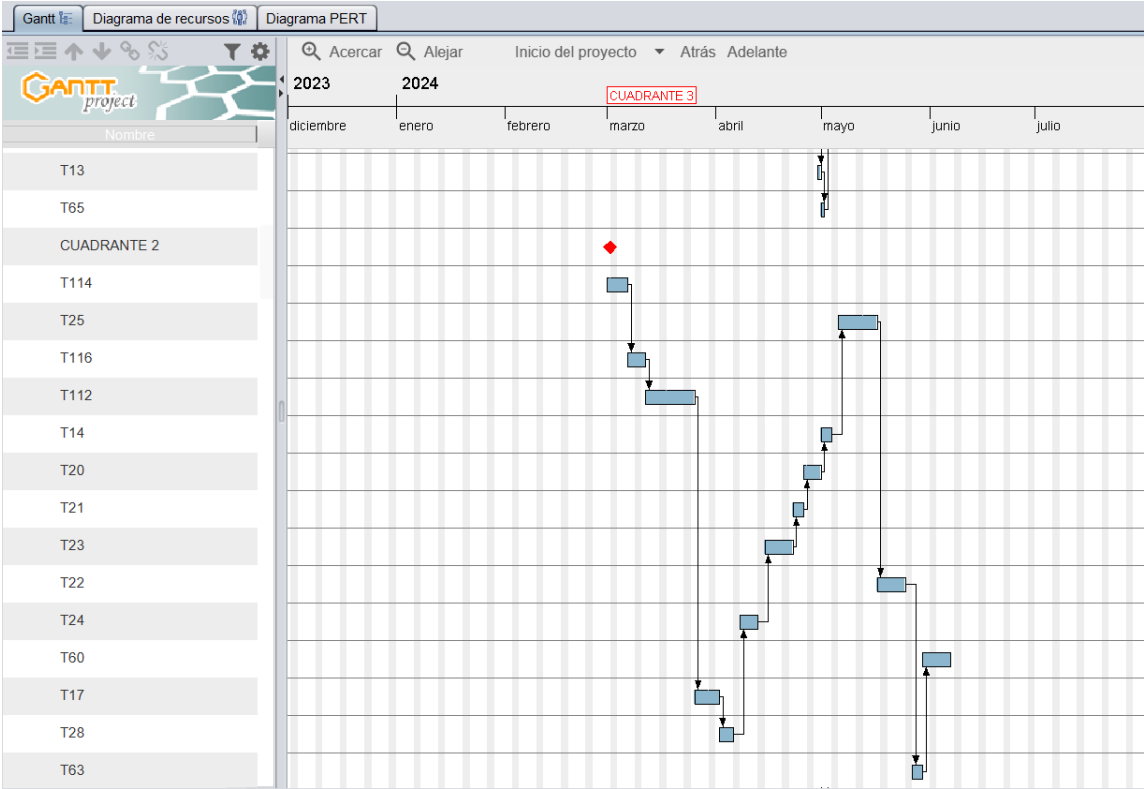
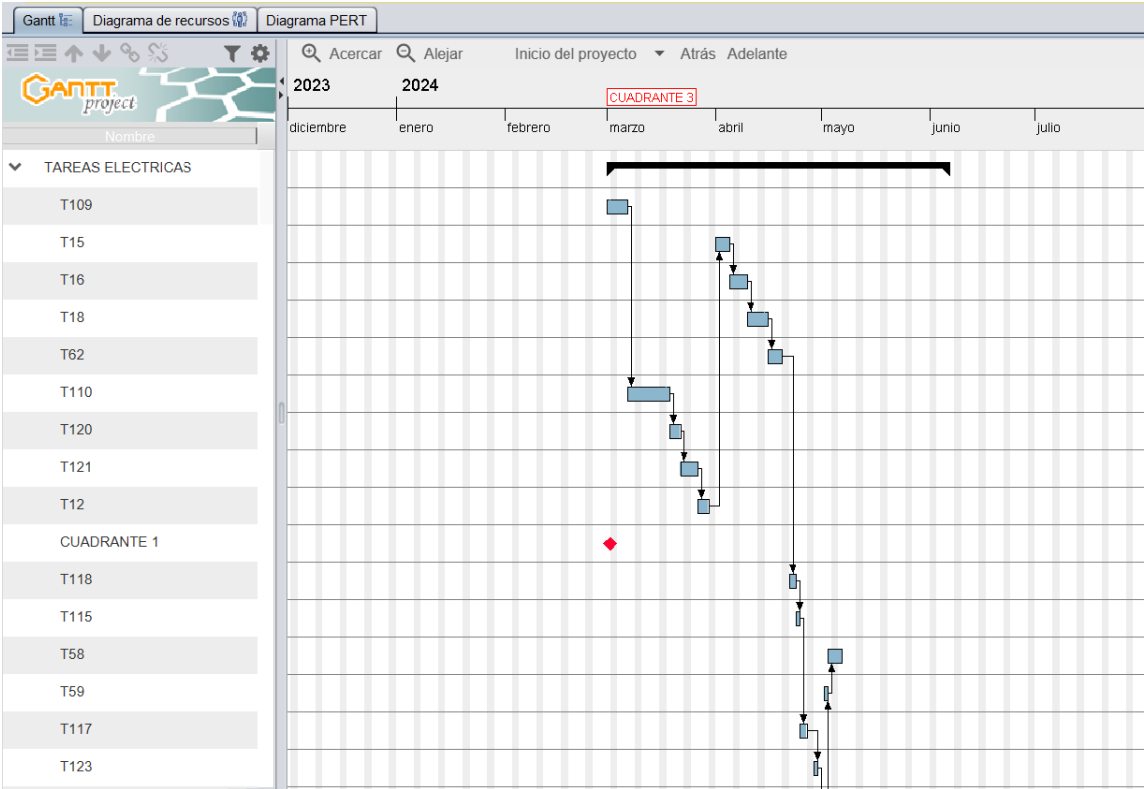
BIBLIOGRAFÍA

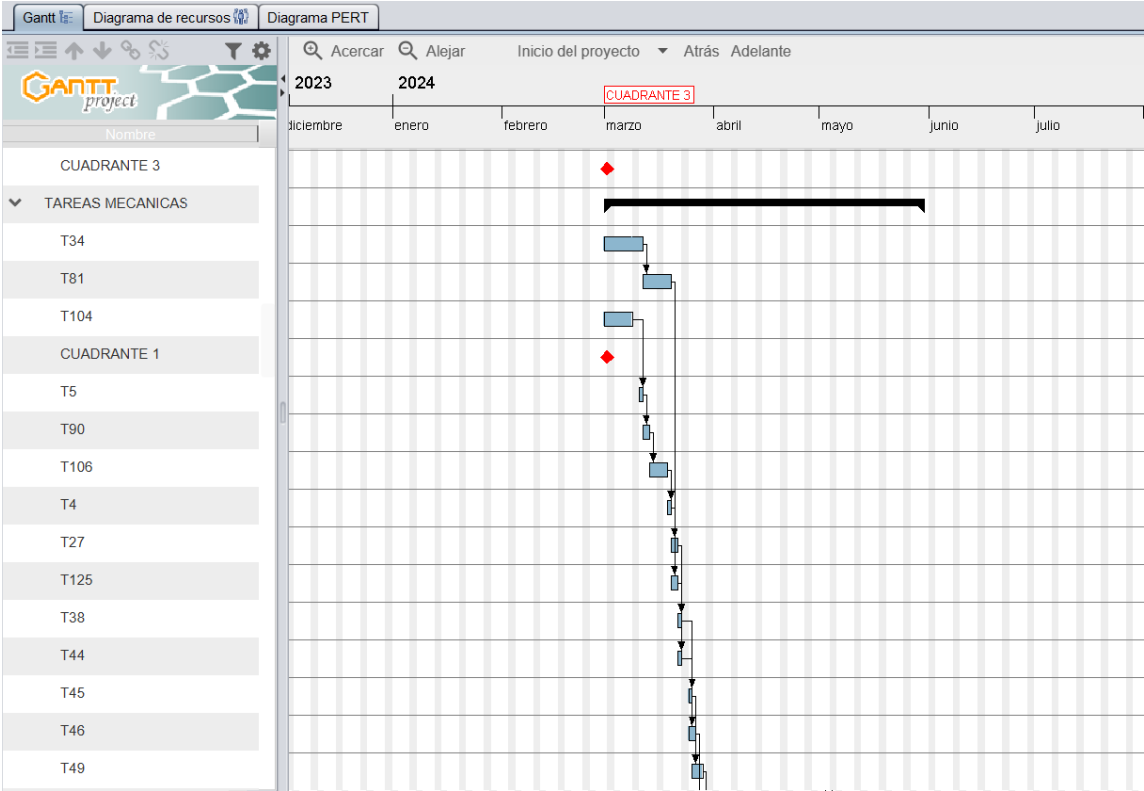
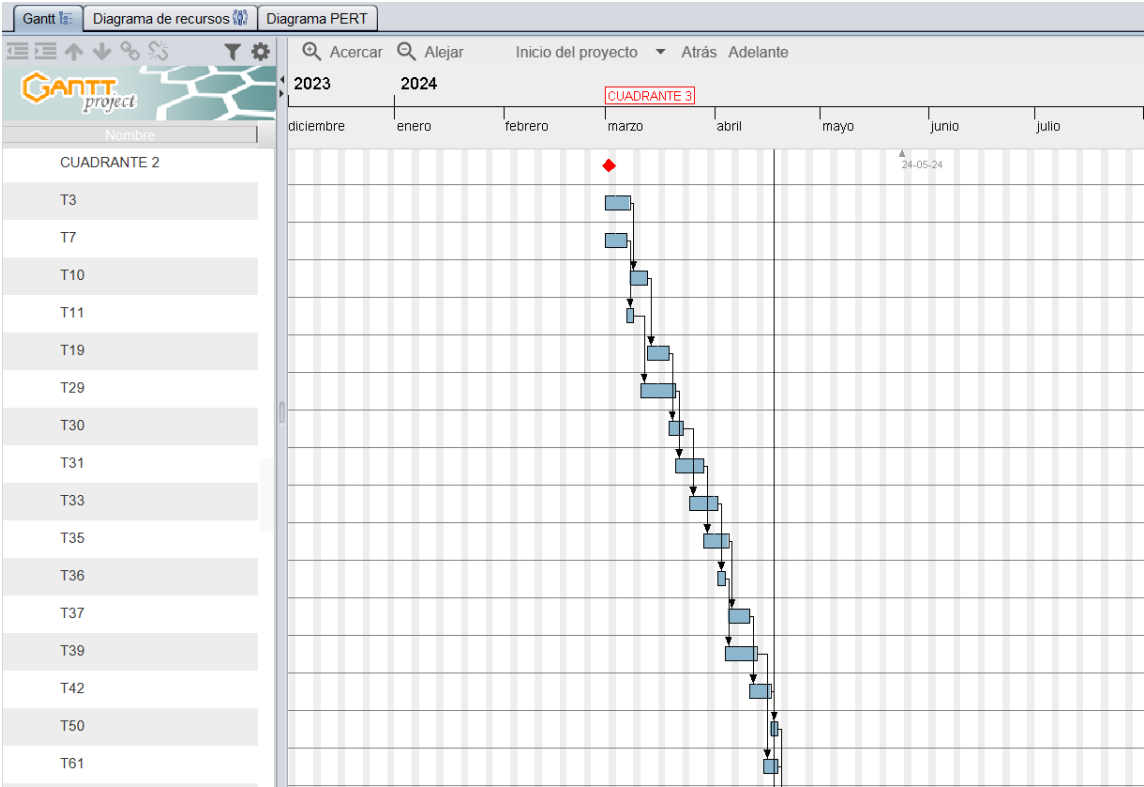
- Anderson, D. &. (2016). *Metodos cuantitativos para los negocios*. Cengage Learning.
- Asana. (28 de marzo de 2024). *Cómo utilizar el método de la ruta crítica en la gestión de proyectos*. Recuperado el 20 de octubre de 2024, de Asana:
<https://asana.com/es/resources/critical-path-method>
- Bennett, L. (1977). *Critical path precedence networks: A handbook on activity-on-node networking for the construction industry*. Van Nostrand Reinhold Co.
- de la fuente, s. (s.f.). *Gestión de proyectos redes pert-cpm. Tecnicas de evaluacion y revision de proyectos*. Recuperado el 20 de noviembre de 2024, de Portal estadística aplicada:
<https://www.estadistica.net/IO/6-1-PERT-CPM.pdf>
- Taha, H. (2012). *Investigacion de operaciones*. Mexico: Pearson.
- Yepes, V. (28 de enero de 2015). *Los orígenes del PERT y del CPM*. Recuperado el 12 de septiembre de 2024, de blogs UPV: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/01/28/los-origenes-del-pert-y-del-cpm/>

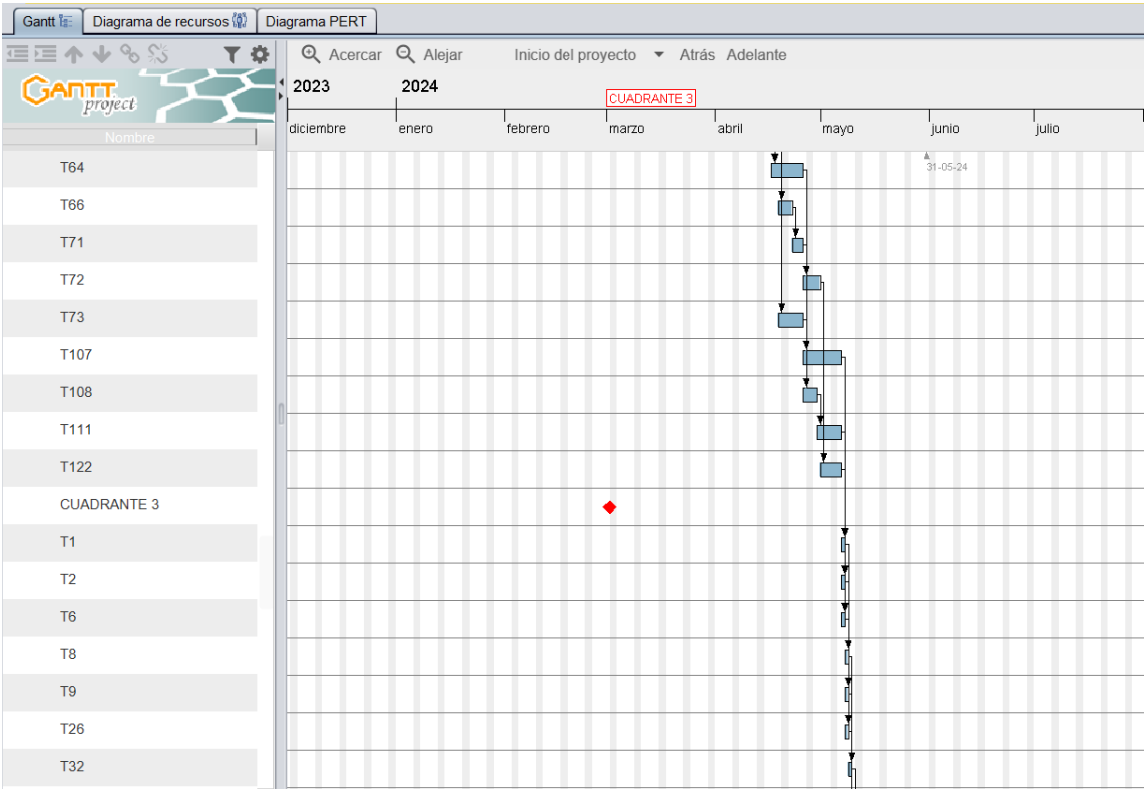
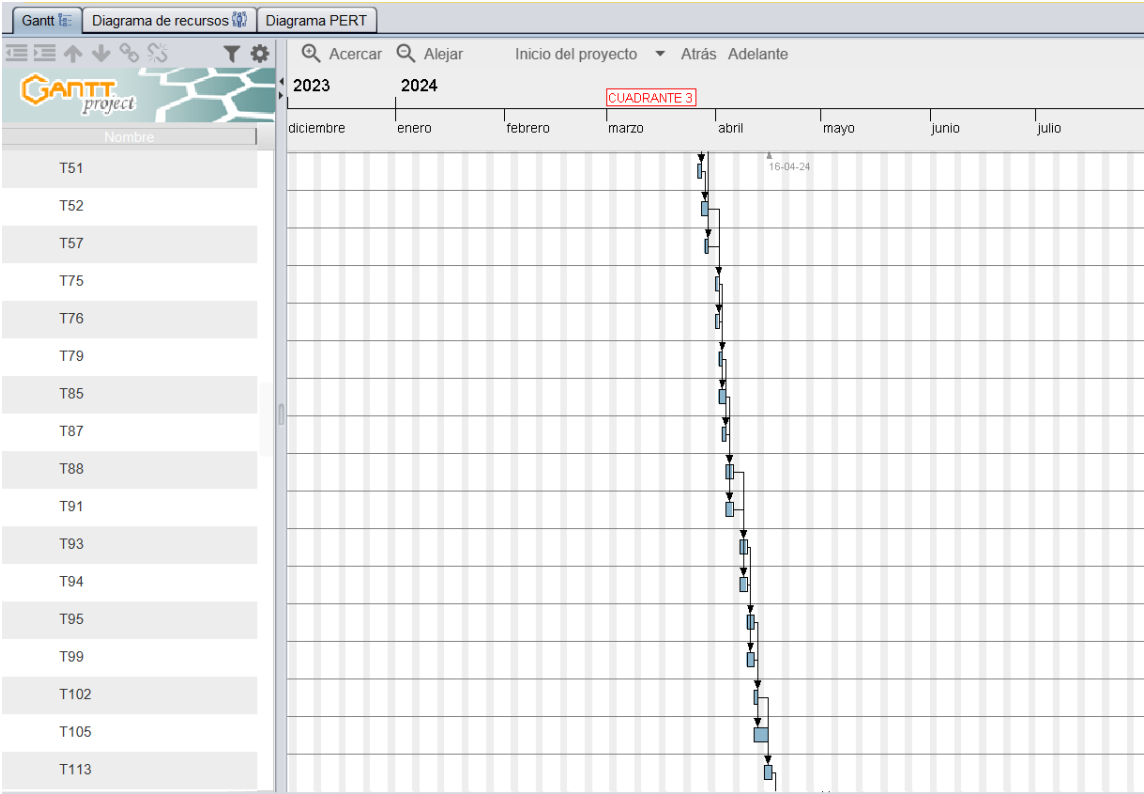
ANEXO A: ÁREA DE TRABAJO

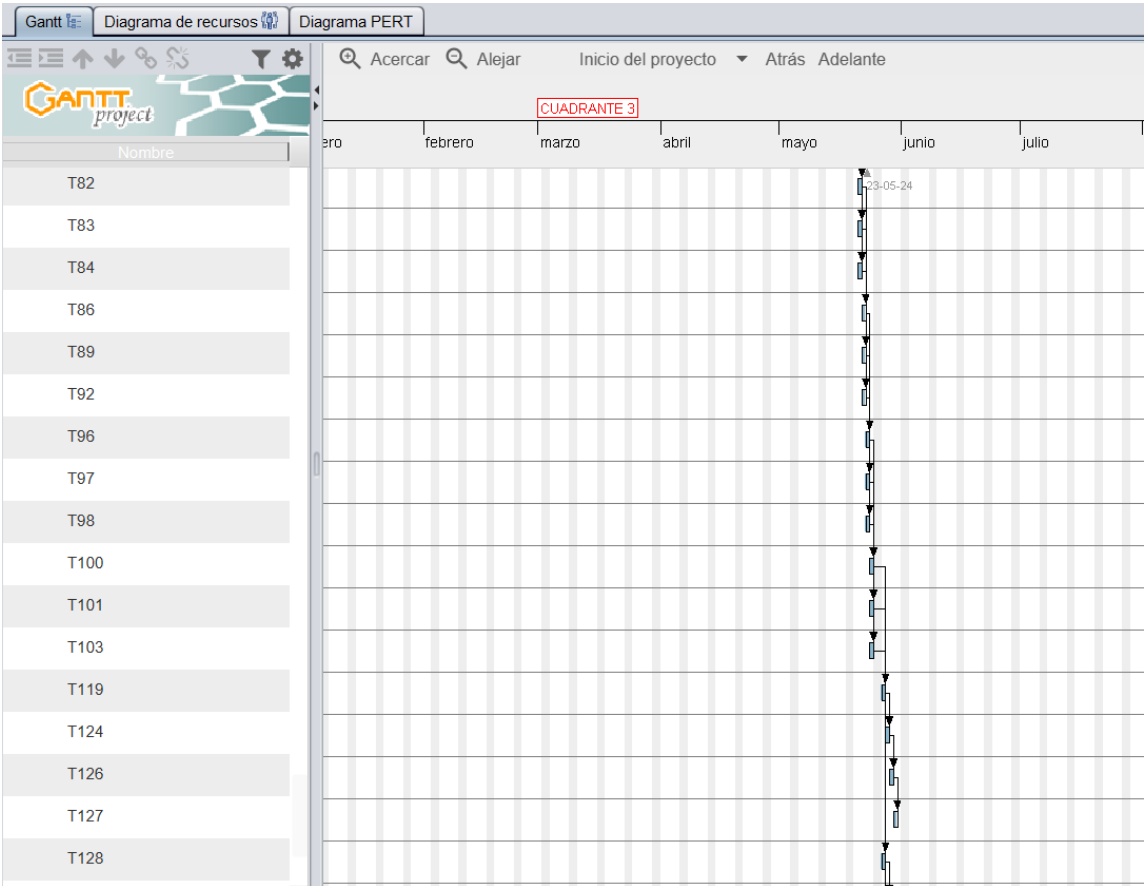
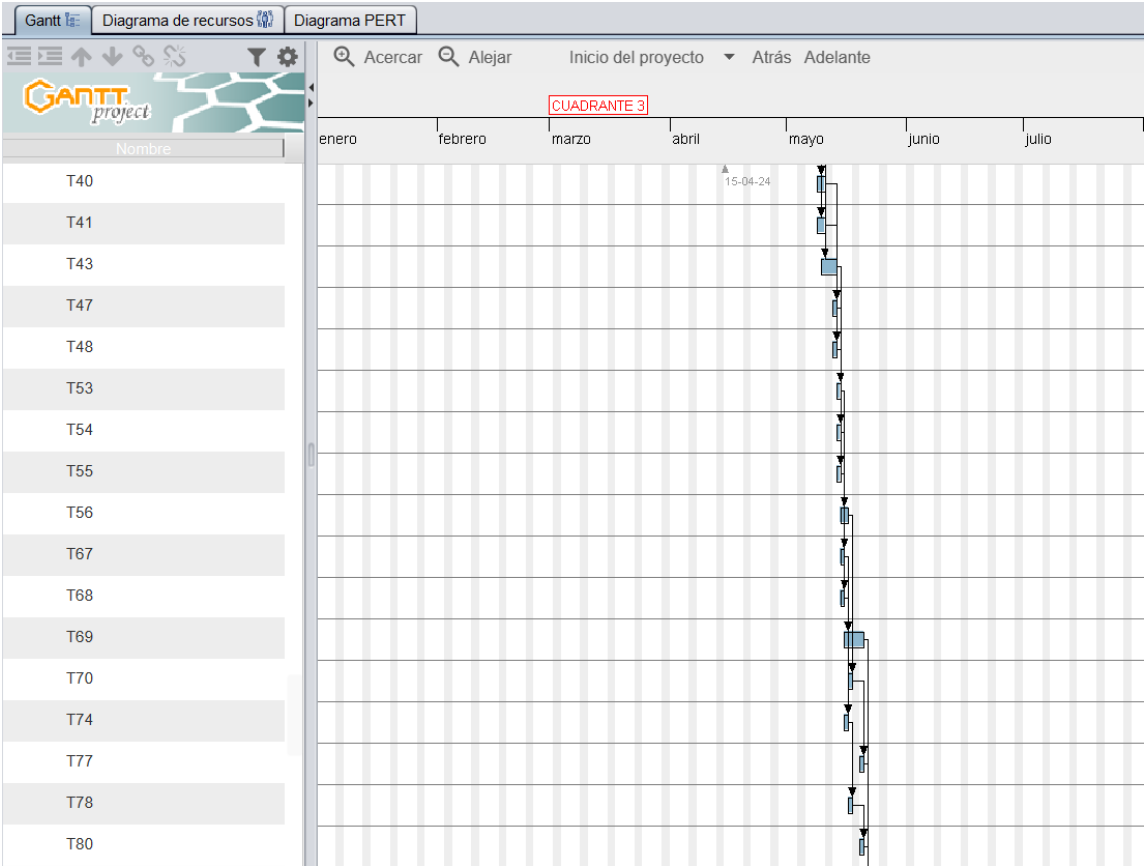


ANEXO B: DIAGRAMA PERT-CPM









T129	
T130	
T131	
T132	
T133	
T134	

anexo c: tareas de mantenimiento

Numero	Código de area	Descripción de Hallazgo	Recomendación
1	EBB	Tag de TK-4004 en mal estado.	Cambiar placa de tagTK-4004 por uno más duradero o pintado en el estanque.
2	EBB	Placas de bombas PP-4005 y PP-4006 no indican diámetro de succión ni descarga.	Agregar información de diámetros de succión y descarga en placa
3	EBB	La caja de conexión del motor de las bombas de agua de sello PP-4016 y PP-4015 se encuentra en altura y sin plataforma	Instalar una plataforma fija o móvil para poder acceder a la caja de conexiones del motor.
4	EBB	Hay presencia de óxidos en espárragos y tuercas de uniones flangeadas en las bombas de agua de sello PP-4016, PP-4015, PP-4014, PP-4013, PP-4012	Cambiar empaquetaduras, tuercas y espárragos oxidados a bombas de agua de sello PP-4016, PP-4015, PP-4014, PP-4013, PP-4012
5	EBB	Válvulas HV-1060 y HV-1062 requieren lubricación y presentan fuga por el cuerpo de la válvula en la parte del asiento.	Realizar mantenimiento, cambiar sellos
6	EBB	Válvula HV-1228 sin tag.	Agregar tag en placa metálica.
7	EBB	Uniones flangeadas en las válvulas presentaron más pernos sueltos	Realizar el torquedo sobre todas las uniones flangeadas

			nuevamente y cambiar empaquetaduras y sellos
8	EBB	Placas orificio PO-1030 / PO-1031 / PO-1032 / PO-1033 / PO-1034 / PO-1035 sin tag ni información.	Instalar placa metálica con tag e información de placas orificio.
9	EBB	PI-4003 sin tag.	Agregar tag en placa metálica.
10	EBB	Válvulas FV-1103, FV-1106, FV-1104 y FV-1107, tablero se encuentra bloqueado por lo que no se puede probar la operatividad de las válvulas.	Desactivar parada de emergencia en el tablero para verificar operatividad de las válvulas.
11	EBB	Debido al bloqueo que genera el estanque TK-4004 por estar lleno de agua, no se pudo verificar la apertura de las siguientes válvulas HV-1210, HV-1227 y HV-1220.	Verificar su apertura y cierre una vez se drene estanque TK-4004
12	EBB	El circuito del equipo sobrepresión alimentado desde el tablero se encuentra en cortocircuito.	Se debe corregir falla
13	EBB	El tablero de alumbrado exterior presenta ausencia de componentes eléctricos (fusibles y otros), que permite energizar las luces indicadores de presencia de tensión.	Colocar los componentes ausentes
14	EBB	El alimentador o cubículo CCM 412-MC-4001 que energiza a la UPS presentaba desconexión de puesta a tierra.	Se debe realizar el conexionado de puesta a tierra
15	EBB	En el Switchgear 412-SW-4001 los ajustes de las curvas de protecciones de cada una de las cargas	Se deben validar los ajustes correspondientes a las protecciones por medio de un documento de estudio de protecciones existente

16	EBB	Los variadores de frecuencias (VDF) se encuentran desenergizados, por lo tanto, se debe validar su funcionamiento al momento de requerir energizar alguna de las cargas relacionadas con el proceso	Se deben energizar y verificar su estado actual
		Los aires acondicionados se encuentran desenergizados, por consiguiente, no se logró verificar su funcionamiento, además las unidades exteriores presentan ausencia de elementos de fijación (tornillos y otros) y deformidad en la estructura.	Se deben energizar y verificar su estado actual (realizar mantenimiento)
17	EBB	El transformador perteneciente a la subestación unitaria presenta aceite alrededor de la toma de muestra del aceite.	Desenergizar, limpiar zona humeda, verificar estanqueidad, hacer seguimiento
18	EBB	Dos de los postes de iluminación aledaños a la subestación presentan una declinación debido a que el terreno está cediendo	Se debe corregir la inclinación y mejorar el terreno para darle fijación a los postes
19	EBB	Las derivaciones del sistema de puesta a tierra se encuentran en algunos casos con conduits deformados o averiados.	Se debe corregir conduits deformados o averiados
20	EBB	En un área relacionada con la puesta a tierra de las escalerillas se observa que no existe continuidad o conexión del cable de puesta a tierra hacia la malla	Se debe corregir puesta a tierra relacionada con las derivaciones
21	EBB	Los cables de los circuitos asociados a las cargas del sumidero anterior se encuentran instalados.	Remover los circuitos asociados al sumidero
22	EBB		

		Existen canalizaciones eléctricas	
23	EBB	tipo conduit flexible que presentan deficiencia y/o rotura, debido a la calidad del conduit y la exposición a la intemperie	Se deben sustituir conduits flexibles necesarias
24	EBB	Existen canalizaciones eléctricas tipo conduit que se encuentran por debajo del nivel del pretil de contención del estanque	Reubicar canalización eléctrica al borde superior del pretil de contención
25	EBB	Al momento energizar se observa en el UPS una falla	Se debe corregir falla
26	EBB	PI-4031 y PI-4032 con sujeción de tag dañada.	Cambiar amarra plástica por cadena metálica para mayor durabilidad.
27	EBB	La visualización de la pantalla del transmisor de nivel 412-LIT-1014 se dificulta al estar debajo de la rejilla en la parte superior	Instalación de pantalla remota, similar al arreglo que tiene el LIT-1013 del estanque de relave TK-4001.
28	EBB	Flexibles rotos en el canalizado eléctrico de instrumentos.	Se deben reemplazar por flexibles con recubrimiento de PVC tipo liquid tight
29	EBB	Dificultad de acceso a algunos instrumentos, a una altura cercana a los 2 m	Diseñar, construir e instalar plataformas móviles
30	EBB	Escaleras verticales para acceso a plataformas de operación fuera de estándar.	Modificar escaleras para actualizar según último estándar
31	EBB	Placas base y atiesadores de soportes de escalerillas eléctricas presentan corrosión leve.	Atenuar nivel de corrosión
32	EBB	Falta la junta de dilatación (e=2.5 cm) en pretil de contención de los Ejes A y B.	Revisar periódicamente (anual) la zona en caso de aparición de fisuras o grietas en el pretil.
33	EBB	Presencia de corrosión leve en columnas y placas de fijación de barandas de plataformas de operación.	Atenuar nivel de corrosión

			Mantener y revisar periódicamente (anual) las
34	EBB	Presencia de fisuras y grietas en pedestales, fundaciones de bombas y estanque que alteran su función estructural.	grietas y observar si no aumentaron de espesor, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos.
35	EBB	Pedestal de columna HN 20x46.0 de plataforma superior de estanque TK-4004 es más alto (16 cm más) que lo indicado en plano estructural.	Se deberá escanear cada pedestal de hormigón para localizar las barras de refuerzo, estribos, horquillas y pernos de anclaje.
36	EBB	Presencia de corrosión leve en columnas, vigas, limones, placas base, atiesadores, pernos de anclaje, pernos de conexión	Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP. Reparar utilizando mortero de reparación SikaRep o similar,
37	EBB	Pedestal de hormigón dañado con grietas y fragmentación en el borde superior.	siguiendo el procedimiento descrito en el anexo del informe.
38	EBB	Presencia de fierros estriados en cara lateral de pretil de contención de Eje A.	Cortar barras ya que presentan un riesgo de accidente para los operarios o personal de MLP.
39	EBB	Soporte de tubería de acero excéntrico, cercano al Eje 3 con A.	Revisar periódicamente la placa base, tuercas y pernos de anclaje en busca de señales de sobrecarga del soporte. Inspeccionar fisuras en la unión de la placa base con perfil vertical.
40	EBB	Espacio entre placa base y fundación de soporte de tubería de acero, cercano al Eje 2 con A.	Rellenar el espacio con grout de nivelación.

			Realizar una limpieza general y periódica de todo el radier con el objetivo de eliminar todo rastros de tierra, ramas u otros elementos que puedan entorpecer la correcta evacuación de aguas lluvias
41	EBB	Presencia de suciedad (tierra y ramas secas) en pasadas de tubos de PVC de evacuación de aguas lluvias.	
42	EBR	En las bombas de reimpulsión PP-4009, PP-4010, PP-4004 y PP-4011, hay presencia de óxidos en espárragos y tuercas de uniones flangeadas.	Cambiar los espárragos y pernos que presenten óxidos en conjunto con las empaquetaduras y sellos.
43	EBR	Válvulas que requieren lubricación son HV-1044, HV- 1043, HV-1036, HV-1008, HV- 1009, HV-1010, HV-1078, HV- 1112, HV-1088, HV-1089, HV- 1090, HV-1091, HV-1093, HV- 1095 y HV10-83.	Lubricar válvulas.
44	EBR	Válvula HV-1010 no abre.	Lubricar y realizar mantenimiento de sellos
45	EBR	Válvulas HV-1086 no abre.	Cambiar válvula.
46	EBR	Válvula HV-1218 tiene el vástago rodado, por lo que no se puede accionar.	Se requiere la reparación del vástago
47	EBR	Válvula HV-1105 sin tag.	Agregar tag en placa metálica.
48	EBR	Válvula HV-1043 sin tag.	Agregar tag en placa metálica.
49	EBR	No es posible realizar la apertura o cierre de la Válvula HV-1034.	Realizar mantenimiento de válvula
50	EBR	Tag DX-8000 no está visible, además instalación de jaula perimetral se encuentra con malezas	Mantenimiento al area
51	EBR	Tag DX-8000 no está visible y con cartel de señal de advertencia por radiación en mal estado.	Instalar tag visible y cartel con advertencia de peligro por radiación en reja perimetral.

52	EBR	Se verificaron las uniones flangeadas con el torque mínimo correspondiente a la clase y diámetro de la tubería, donde las uniones con las válvulas son las que presentaron más pernos sueltos	Se recomienda realizar el torqueado sobre todas las uniones flangeadas nuevamente y cambiar empaquetaduras y sellos según se requiera caso a caso.
53	EBR	Placas de bombas PP-4004, PP-4009, PP-4010 y PP-4011 no indican diámetro de succión ni descarga.	Agregar información de diámetros de succión y descarga en placa
54	EBR	PI-4016 tag no visible	Agregar tag en lugar visible
55	EBR	PI-4014 sin tag	Agregar tag en placa metálica.
56	EBR	No se pudieron accionar las válvulas HV-1045 y HV-1047 debido al bloqueo por estar lleno el TK-4001	Accionar apertura y cierre de válvulas una vez que el TK-4001 este vacío.
57	EBR	Manilla de válvula HV-1087 en mal estado	Cambiar manilla.
58	EBR	Las derivaciones del sistema de puesta a tierra se encuentran en algunos casos con conduits deformados o averiados.	Corregir conduits deformados o averiados
59	EBR	Existen canalizaciones eléctricas tipo conduit que se encuentran por debajo del nivel del pretil de contención del estanque (A)	Reubicar canalización eléctrica al borde superior del pretil de contención
60	EBR	Existen canalizaciones eléctricas tipo conduit flexible que presentan deficiencia y/o rotura, debido a la calidad del conduit y la exposición a la intemperie	Se deben sustituir conduits flexibles necesarias
61	EBR	Dificulta de acceso a caja de conexión de motores	Instalar una plataforma fija o móvil para poder acceder a la caja de conexiones del motor.

		Al momento de realizar las pruebas se desconectó la bomba en la caja de conexión se encuentran desconectados ya que requieren conexión tipo termocontraible con material de alta temperatura	Realizar el reemplazo de la conexión de los cables en la caja del motor utilizando termocontraible
62	EBR		
63	EBR	Flexibles rotos en el canalizado eléctrico de instrumentos.	Se deben reemplazar por flexibles con recubrimiento de PVC tipo liquid tight
64	EBR	Falta el cilindro de agente limpio FM200 del sistema de detección y extinción de incendio de la Sala de Control ubicada en el área de la estación de bombeo y de agua a alta presión	Se debe adquirir un nuevo cilindro de FM200 con la capacidad que fue diseñado el sistema de detección y extinción original
65	EBR	Existen canalizaciones eléctricas tipo conduit que se encuentran por debajo del nivel del pretil de contención del estanque (D)	Reubicar canalización eléctrica al borde superior del pretil de contención
66	EBR	Escaleras verticales para acceso a plataformas de operación fuera de estándar.	Modificar escaleras para actualizar según último estándar
67	EBR	Presencia de corrosión leve en pernos de anclaje de columnas de apoyo, pernos de conexión de peldaños de escalera de acceso.	Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP.
68	EBR	Las barandas de la escalera de acceso presentan un pequeño movimiento lateral al aplicar una carga fuera del plano.	Incorporar una placa de unión entre los perfiles $\Phi 1/2"$ de las barandas.
69	EBR	Placas base de columnas de escalera de acceso, apoyadas sobre el pretil de contención, presentan una separación entre ellas.	Rellenar con grout de nivelación el espacio detectado.

			Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP.
70	EBR	Soportes de tubería de acero con corrosión leve en pernos de anclaje y placas base.	Revisar periódicamente (anual) las grietas y observar si no aumentaron de espesor, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos.
71	EBR	Presencia de fisuras y grietas en pedestales, fundaciones de bombas y estanque que no alteran su función estructural.	
72	EBR	En estructura de plataforma superior de TK-4001, existe diferencia de espesor de placas Gusset de conexión de diagonales en llegada a columna y pedestal de hormigón.	Verificar la conexión con el espesor mínimo para la placa Gusset.
73	EBR	Desviación de pedestales de columnas HN 25 de los Ejes 7 y 11 de estructura de plataforma de TK-4001	Verificar las fundaciones y pedestales considerando la desviación existente.
74	EBR	Desprendimiento de pintura y corrosión en distintos elementos de acero de estructura de plataforma de TK-4001.	Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP.
75	EBR	Placa Gusset de diagonales XL 16 en llegada a columna HN 25 y viga IN 20, es de menor espesor a lo indicado en plano estructural.	Verificar la conexión con el espesor mínimo para la placa Gusset.
76	EBR	Escalera entre plataformas EL. 1466.432 y EL. 1468.112 presenta desnivelación considerable en todos los peldaños.	Reubicar los peldaños cuidando de establecer una correcta nivelación horizontal en ambos sentidos.

77	EBR	Presencia de corrosión en placas base, tuercas, pernos de anclaje, soportes, placas de apoyo y fijación de tuberías HDPE.	Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP.
78	EBR	Presencia de corrosión leve en placas base, contraplaca y atiesadores de silla de anclaje columnas de Cajón Limpieza de Relaves TK-4000.	Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP.
79	EBR	El espesor de diagonal XL 20x23.5 de Eje 7 de TK-4000 es de menor espesor a lo indicado en plano estructural.	Cambiar las diagonales existentes por unas del espesor correcto indicado en plano estructural
80	EBR	Corrosión presente en pernos de silla de anclaje de columna HN 20x39.9 de plataforma EL. 1462.950.	Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP.
81	EBR	Ausencia de placas centrales e=6 mm en vigas IN 20/IN 35 de Eje L, todos los niveles de TK-4000.	La recomendación es proceder con la instalación inmediata de estas dos (2) placas en cada llegada de diagonales.
82	EBR	Corrosión leve presente en tuercas y pernos de anclaje de columnas HN 25 de eje 11 de plataforma de TK-4001.	Realizar una limpieza superficial manual con escobilla de acero, espátula y/o lija, restituir pintura según el estándar corporativo de MLP.
83	EBR	Presencia de suciedad (tierra y ramas secas) en limón de escalera de acceso a la estación.	Realizar una limpieza general y periódica de todo el radier con el objetivo de eliminar todo rastro de tierra, ramas u otros elementos que puedan entorpecer la correcta evacuación de aguas lluvias.

84	EBR	Presencia de suciedad (tierra y ramas secas) en rejilla de drenaje bajo plataforma de escalera de acceso a la estación, en radier apoyo de soportes de tubería de acero Eje 1 sobre fundaciones de soportes de tuberías externas a la estación.	Realizar una limpieza general y periódica de todo el radier con el objetivo de eliminar todo rastro de tierra, ramas u otros elementos que puedan entorpecer la correcta evacuación de aguas lluvias.
85	EBR	Placa añadida en voladizo para apoyo de baranda de plataforma EL. 1462.062 de TK-4001.	Agregar atiesador(es) vertical(es) bajo esta placa de apoyo de baranda.
86	EBR	Cartel "Precaución" instalado de forma precaria.	Cambiar cartel por uno metálico y fijado de manera firme a la viga existente.
87	EBR	Presencia de tuerca en viga IN 20x41.1 (EL. 1466.400) de Eje E con 5.	Retirar todo objeto suelto que pueda provocar lesiones
88	EBR	Escalera de gato acceso a plataforma EL. 1462.950 fuera de estándar.	Modificar escalera para actualizar según último estándar.
89	SUM	En la revisión de las boquillas del TK-4002 se encontró que los tags están por debajo de la tubería por lo que es difícil identificarlos, además de que hay tags erróneos, el tag N7 está instalado en la boquilla N5, N2 está tageado como N4 y N4 no se puede inspeccionar.	Corregir placas con tag correcto.
90	SUM	Según inspección visual las bombas de agua de alta presión PP-4000@4003, hay presencia de óxidos en espárragos y tuercas de uniones flangeadas y agrietamiento en las empaquetaduras.	Cambiar los espárragos y pernos que presenten óxidos en conjunto con las empaquetaduras y sellos.

91	SUM	Según inspección visual las bombas de agua de sello PP-4012@4014	Cambiar los espárragos y pernos que presenten óxidos en conjunto con las empaquetaduras y sellos
92	SUM	Bomba PP-4000 no tiene tag y presenta placa con óxido.	Agregar tag en placa metálica.
93	SUM	Las válvulas HV-1044, HV-1043, HV-1036, HV-1008, HV-1009, HV-1010, HV-1078, HV-1112, HV-1088, HV-1089, HV-1090, HV-1091, HV-1093, HV-1095 y HV10-83.	Las válvulas que requieren lubricación
94	SUM	Las válvulas HV-1044, HV-1043, HV-1036, HV-1008, HV-1009, HV-1010, HV-1078, HV-1112, HV-1088, HV-1089, HV-1090, HV-1091, HV-1093, HV-1095 y HV10-83.	Comprar e instalar volante para válvulas.
95	SUM	Válvulas HV-1004, HV-1052 y HV-1022 no se pudo verificar su apertura, ya que se encontraban bloqueadas porque el TK-4002 se encontraba lleno de agua.	Verificar correcta apertura y cierre de válvulas una vez se drene el TK-4002.
96	SUM	El seguro para apertura de la Válvula HV-134 se encuentra en mal estado	Reparar seguro de cierre.
97	SUM	Válvula HV-1259 tiene tag erróneo de la válvula HV-1254 y válvula HV-1254 tiene tag de HV-1256	Corregir placas con tag correcto.
98	SUM	Válvula HV-1256 sin tag	Agregar tag en placa metálica.
99	SUM	Válvula HV-1255 no abre completamente y tiene instalado un flange ciego	Realizar mantención de la válvula
100	SUM	La válvula HV-1255 no se visualiza el tag ya que está pintado.	Limpieza de placa de tag.
101	SUM	Válvula HV-1253 sin tag	Agregar tag en placa metálica.

102	SUM	Válvula HV-1237 no cierra completamente	Realizar mantención de la válvula
103	SUM	Válvula HV-1051 sin tag. Flange de la descarga de las bombas de alta presión y flange de tubería de acero tiene distintos diámetros y los espárragos están instalados forzosamente debido a la diferencia de dimensiones (se puede ver que los espárragos se encuentran en diagonal y no perpendiculares a los flanges)	Agregar tag en placa metálica. Modificar unión entre bomba y tubería, los flanges deben ser de las mismas características.
104	SUM	Ubicación de válvulas FV-1020, FV-1021, FV-1022, FV-1023 y HV-1146 @ 1161 se encuentran a una altura superior a los 2 metros, por lo que es imposible acceder a ellas desde nivel de piso.	Modificar escalera para actualizar según último estándar.
105	SUM	Se verificaron las uniones flangeadas con el torque mínimo correspondiente a la clase y diámetro de la tubería, donde las uniones con las válvulas son las que presentaron más pernos sueltos	Cambiar los espárragos y pernos que presenten óxidos en conjunto con las empaquetaduras y sellos.
106	SUM	Mala accesibilidad al espacio que queda entre los filtros FLS-1001 y FLS-1002.	Diseñar, construir e instalar plataformas móviles
107	SUM	Las válvulas: HV-1017, HV-1011, HV-1058 y HV-1024	Lubricar válvulas.
108	SUM	Se debe verificar los ajustes de las curvas de protecciones de cada una de las cargas en el Switchgear 412-SW-4000.	Se deben validar los ajustes correspondientes a las protecciones por medio de un documento de estudio de protecciones existente
109	SUM		

		Los variadores de frecuencias (VDF) se encuentran desenergizados, por lo tanto, se debe validar su funcionamiento al momento de requerir energizar alguna de las cargas relacionadas con el proceso. Además, la alimentación y la salida del circuito de los cables se encuentran ubicados en la parte posterior, es decir, el acceso a los cables no es posible para su desconexión, debido a que se encuentran posicionados hacia la pared.	
110	SUM		Se deben energizar y proceder a verificar su estado actual.
111	SUM	Los pozos de medición no están contruidos según las normas nacionales e internacionales, un primer pozo requiere conector mecánico para barra y cable 4/0 con relación al segundo necesita la varilla o barra. Los interruptores del Switchgear 412-SG-4000 arrojan indicadores de falla en las curvas de puesta a tierra y sobrecarga, estos interruptores posiblemente deben ser verificados en cuanto a control o posiblemente se deben reiniciar (reset). Además, se observa que su ubicación presenta falta de acceso para realizar maniobras de mantención a las barras de este.	Se debe normalizar pozo de puesta a tierra.
112	SUM		Se debe corregir falla.
113	SUM	Los aires acondicionados se encuentran desenergizados, por consiguiente, no se logró verificar su funcionamiento.	Se deben energizar y verificar su estado actual.

114	SUM	Las derivaciones del sistema de puesta a tierra se encuentran en algunos casos con conduits deformados o averiados. Esto es debido a la ubicación de la salida para la conexión	Corregir conduits deformados o averiados
115	SUM	Existen canalizaciones eléctricas tipo conduit que se encuentran por debajo del nivel del pretil de contención del estanque (c)	Reubicar canalización eléctrica al borde superior del pretil de contención
116	SUM	Existen canalizaciones eléctricas tipo conduit flexible que presentan deficiencia y/o rotura, debido a la calidad del conduit y la exposición a la intemperie.	Se deben sustituir conduits flexibles necesarias
117	SUM	El tablero de alumbrado exterior y Tablero de fuerza presenta ausencia de componentes.	Se deben colocar los componentes faltantes.
118	SUM	El alimentador o cubículo del CCM que energiza la bomba de sello 412-PP-4014A presentaba desconexión de puesta a tierra.	Se debe realizar el conexionado de puesta a tierra.
119	SUM	La visualización de la pantalla del transmisor de nivel 412-LIT-1011 se dificulta al estar debajo de la rejilla en la parte superior	Instalación de pantalla remota, similar al arreglo que tiene el LIT-1013 del estanque de relave TK-4001.
120	SUM	Flexibles rotos en el canalizado eléctrico de instrumentos.	Se deben reemplazar por flexibles con recubrimiento de PVC tipo liquid tight
121	SUM	Existen canalizaciones eléctricas tipo conduit que se encuentran por debajo del nivel del pretil de contención del estanque y en algunos casos pudieran quedar sumergidas en líquido con posibilidad de ingreso a las tuberías.	Reubicar canalización eléctrica al borde superior del pretil de contención

122	SUM	Dificultad de acceso a algunos instrumentos (incluyendo válvulas motorizadas) a una altura cercana a los 3 m.	Diseñar, construir e instalar plataformas móviles
123	SUM	Al transmisor de flujo 412-FIT-276 le falta la pantalla, debería ser similar al 412-FIT-275 ubicado a la entrada del estanque TK-4002	Se debe adquirir una nueva pantalla para el transmisor 412-FIT-275
124	SUM	Escaleras verticales para acceso a plataformas de operación fuera de estándar.	Modificar escaleras para actualizar según último estándar
125	SUM	TK-4002 presenta parche de reparación por fuga en primer llenado, según lo comentado por personal de R&Q.	Se recomienda realizar ensayos no destructivos para inspección de soldadura, tales como: test de líquido penetrante, ultrasonido o radiografía. Revisar periódicamente (anual)
126	SUM	Presencia de grietas en los pedestales que no alteran su función estructural.	las grietas y observar si no aumentaron de espesor, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos.
127	SUM	Radieres donde se apoyan las bombas presentan pedestales con grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas y tuercas con corrosión superficial	Revisar periódicamente (anual) las grietas y observar si no aumentaron de espesor, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos.
128	SUM	Soportes arriostrados presentan columnas y vigas con corrosión leve y sus pedestales presentan grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas y tuercas, placas	Revisar periódicamente (anual) las grietas y observar si no aumentaron de espesor, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos.

y rigidizadores con corrosión superficial		
129	SUM	Soportes menores presentan columnas y vigas con corrosión leve y sus pedestales presentan grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas y tuercas, placas y rigidizadores con corrosión superficial Revisar periódicamente (anual) las grietas y observar si no aumentaron de espesor, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos.
130	SUM	Soportes atiesados presentan columnas y vigas sin corrosión y sus pedestales presentan grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas y tuercas, placas y rigidizadores con corrosión superficial Revisar periódicamente las grietas y observar si no aumentaron de espesor. Además, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos, al igual que las placas y perfiles de acero
131	SUM	Plataforma de ingreso a estanque presenta columnas y vigas sin corrosión y sus pedestales presentan grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas y tuercas, placas y rigidizadores con corrosión superficial Revisar periódicamente las grietas y observar si no aumentaron de espesor. Además, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos, al igual que las placas y perfiles de acero

132	SUM	Soportes en L para tuberías presentan columnas y vigas sin corrosión y sus pedestales presentan grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas, tuercas y placas con corrosión superficial	Revisar periódicamente las grietas y observar si no aumentaron de espesor. Además, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos, al igual que las placas y perfiles de acero
		Soportes para columnas de HDPE presentan columnas y vigas sin corrosión y sus pedestales presentan grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas, tuercas y placas con corrosión superficial	Revisar periódicamente las grietas y observar si no aumentaron de espesor. Además, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos, al igual que las placas y perfiles de acero
		Soportes tipo canal presentan vigas con corrosión leve y sus pedestales presentan grietas menores que no comprometen su función estructural. También presentan pernos, golillas, tuercas y placas con corrosión superficial	Revisar periódicamente las grietas y observar si no aumentaron de espesor. Además, revisar periódicamente la ferretería menor, con el fin de que la corrosión no avance hacia el interior de esos elementos, al igual que las placas y perfiles de acero