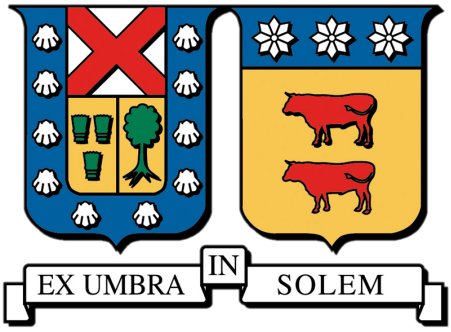


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PROYECTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE CONTROL DE OLORES EN UNA PLANTA DE CELULOSA MULTINACIONAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

TOMÁS CRISTIAN MARCOTTI ROJAS

PROFESOR GUÍA

MARÍA PILAR GÁRATE CHATEAU

PROFESOR CO-REFERENTE

GONZALO DAVID AMÉSTICA HERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE, OCTUBRE 2024

Tabla de Contenidos

1. Agradecimientos **4**

2. Resumen Ejecutivo **5**

3. Abstract **6**

4. Problema de Investigación **8**

5. Objetivos **10**

5.1. Objetivo General 10

5.2. Objetivos Específicos 10

6. Marco Teórico **11**

6.1. Contexto de Olores Global 11

6.2. Contexto de Olores en Chile y Brasil 12

6.3. Empresas Dedicadas al Mercado de Olores 13

6.4. The Sinergy Group SpA. 14

6.5. Emisiones de Olores 15

6.6. Olores en el Proceso de la Celulosa 19

6.7. Planta de Celulosa Estudiada 22

6.8. Problema Odorante en Caso de Estudio 22

6.9. Contexto del Proyecto de Olores 23

7. Metodologías **28**

7.1. Fuentes de Información 28

7.2. Método de Trabajo y Aplicación 28

7.2.1. Método QC STORY 29

7.2.2. Método del Camino Crítico (CPM) 31

7.2.3. Cómo Leer los Diagramas CPM 32

7.2.4. Sinergia entre Ciclo de Deming y CPM 39

7.2.5. Resultados Esperados 41

8. Alcance **42**

9. Análisis y Resultados **43**

9.1. Introducción 43

9.2. Análisis del Ciclo de Deming a través del Método 'QC STORY' 46

9.2.1. Introducción 46

9.2.2. Fase Plan 46

9.2.3. Fase Do 55

9.2.4. Fase Check 59

9.2.5. Fase Act 61

9.3. Análisis del Método del Camino Crítico (CPM) en Orden Cronológico 62

9.3.1. CPM Inicial 62

9.3.2. CPM 1 74

9.3.3. CPM 2 77

9.3.4. CPM 3 82

9.3.5. CPM 3.1 90

9.4. Comparación y Sinergia entre Ciclo de Deming y CPM 92

10. Conclusiones **95**

11. Anexos **97**

11.1. ANEXO A: Herramientas utilizadas en el método ’QC STORY 97

11.2. ANEXO B: Datos para construcción de diagramas CPM 104

11.3. ANEXO C: Diagramas CPM 110

11.4. ANEXO D: Matrices de Decisión 112

11.5. ANEXO E: Evolución del Diagrama del Ciclo de Deming 113

1. Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo incondicional de varias personas que me han acompañado a lo largo de este camino.

Primero, quiero expresar mi gratitud más profunda a mis padres y hermanos. Ellos han sido el pilar fundamental en mi vida, no solo durante el desarrollo de esta memoria, sino también a lo largo de todo el trayecto académico. Su constante apoyo, paciencia y amor me han dado la fuerza para superar cada obstáculo. Este logro es tan mío como de ellos.

A mis amigos, con quienes compartí momentos inolvidables a lo largo de estos años universitarios, quiero agradecerles por estar siempre ahí, haciendo que esta etapa de mi vida se convirtiera en una de las más especiales y llenas de alegría.

Quiero dedicar unas palabras especiales a una persona muy importante para mí, quien con su motivación y ternura fue mi faro en los días más complicados. En los momentos en que este trabajo parecía no tener un rumbo tan claro, ella siempre estuvo a mi lado, dándome ánimo y cariño, recordándome que, con perseverancia, todo se puede lograr.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer profundamente a todos los profesores que me formaron como profesional. Cada uno de ellos ha dejado una huella en mi formación, y este logro es un reflejo del esfuerzo y aprendizaje que me inculcaron en este largo camino. Agradezco especialmente a aquellos que, con sus palabras y consejos, me inspiraron a seguir adelante, incluso en momentos difíciles.

2. Resumen Ejecutivo

El objetivo principal de esta memoria fue diseñar e implementar un sistema de control de proyectos eficiente para un proyecto de control de olores en una planta de celulosa multinacional en Brasil, ubicada cerca de comunidades residenciales afectadas por emisiones de olores. La metodología se basó , principalmente, en dos herramientas clave: el Critical Path Method (CPM) y el Ciclo de Deming. El CPM permitió optimizar la asignación de recursos y asegurar que el cronograma se mantuviera sin retrasos, mientras que el Ciclo de Deming fue aplicado para la mejora continua tanto en el sistema de control del proyecto como en la optimización del propio CPM.

Las soluciones incluyeron el diseño e implementación de una arquitectura de trabajo en la nube Sharepoint, en donde la centralización de la información fue clave, la creación de un sistema de seguimiento del proyecto en tiempo real utilizando Excel, y la reorganización lógica de las reuniones semanales, mejorando la eficiencia en la toma de decisiones y el control del proyecto. Además, el otro eje central de esta memoria es el diseño y uso del método CPM para complementar la tomaa de decisiones en el control del proyecto.

El proyecto resultó en una disminución del tiempo promedio de las reuniones de 2 horas y 42 minutos a 2 horas y 10 minutos, y de un 73 % de disconformidad con el control del proyecto, luego de la implementación de los cambios descritos en esta memoria, solo el 9 % de los participantes expresaron disconformidad, superando la meta del 20 %. En conclusión, la sinergia entre el CPM y el Ciclo de Deming demostró ser eficaz para mejorar la gestión del proyecto y mitigar el impacto ambiental, lo que refuerza la sostenibilidad operativa de la planta.

3. Abstract

This project focuses on designing and implementing an efficient project control management system for a large-scale multinational pulp mill located in Brazil. The pulp mill is surrounded by residential communities, and it has been the source of 158 formal complaints regarding odor emissions between January 2021 and December 2023. Some complaints even detailed health-related symptoms, such as nose irritation. To address this issue, the project introduced an integrated project control system that aimed to manage operational activities, reduce odor emissions, and ensure continuous improvement of internal processes.

The methodology employed in this project integrates two key management tools: the Critical Path Method (CPM) and the Deming Cycle (PDCA). CPM was used to identify critical tasks and ensure that resources were allocated efficiently, while the Deming Cycle promoted continuous improvement at both macro and micro levels. The combination of these tools enhanced task coordination, optimized decision-making processes, and improved the project's overall timeline.

Key actions implemented included centralizing project information in a cloud-based platform (SharePoint), developing a real-time tracking Excel workbook, and restructuring weekly meetings for more efficient decision-making. These actions contributed to a clearer control over the project's progress and facilitated better communication among the teams involved.

The outcomes were positive, with a reduction in the average duration of weekly meetings from 2 hours and 42 minutes to 2 hours and 10 minutes. Furthermore, only 9 % of participants reported dissatisfaction with the project management system, significantly surpassing the original goal of reducing dissatisfaction to 20 % or less. These results underline the effectiveness of combining project management methodologies with specialized technological solutions to address both

operational and environmental challenges in large industrial settings.

4. Problema de Investigación

Una de las plantas de celulosa más grandes del mundo ubicada en Brasil, ha enfrentado en los últimos años numerosos reclamos de la comunidad circundante debido a los malos olores emitidos por sus procesos industriales. Estos problemas han creado la urgente necesidad de implementar soluciones efectivas para el control de olores, que no solo mitiguen el impacto ambiental, sino que también mejoren la convivencia con las comunidades aledañas. En este contexto, surge el desafío de encontrar una manera eficiente de gestionar un proyecto de carácter multinacional que implique la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas y la coordinación de múltiples partes interesadas.

La empresa TSG ha sido contratada para desarrollar y ejecutar un proyecto integral de abatimiento de olores en la planta de celulosa de la cual se está hablando. Este proyecto, que representa el esfuerzo más grande de TSG hasta la fecha, no solo busca resolver un problema crítico para la planta, sino que también tiene el potencial de establecer un precedente en la gestión de proyectos ambientales a gran escala. Aquí es donde el manejo efectivo de proyectos adquiere una relevancia significativa.

El memorista es responsable de la organización y recopilación de información, la verificación de avances y la coordinación de actividades relacionadas con la implementación del sistema de abatimiento de olores. La gestión eficiente de este proyecto implica la aplicación de principios y metodologías de gestión de proyectos que aseguren la planificación, ejecución y control adecuados de todas las fases del proyecto, enfrentando así el desafío de gestionar un proyecto multinacional con todas las complejidades que esto conlleva.

La importancia de una gestión de proyectos efectiva en el contexto ambiental es doble.

Por un lado, permite abordar de manera estructurada y eficiente problemas complejos como el control de olores, asegurando que todas las actividades se realicen según lo planificado y dentro de los plazos establecidos. Por otro lado, fortalece la posición de TSG como líder en soluciones de control de olores, demostrando su capacidad para gestionar y ejecutar proyectos de gran escala y alta complejidad en un contexto multinacional. Esto, a su vez, podría abrir nuevas oportunidades de negocio y contribuir al desarrollo de prácticas sostenibles en la industria de la celulosa y más allá.

Algunas preguntas que se podrán responder mediante la realización de esta tesis incluyen: ¿Qué metodologías de gestión de proyectos pueden ser efectivas en este contexto? ¿Cómo se pueden coordinar eficientemente los esfuerzos entre múltiples partes interesadas en diferentes países? ¿Cuáles son los principales desafíos en la implementación de un sistema de abatimiento de olores y cómo pueden ser superados a través de una gestión de proyectos efectiva?

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de gestión de proyectos para la implementación de soluciones de control de olores en una planta multinacional, utilizando el Método del Camino Crítico (CPM) y el Ciclo de Deming, con el fin de optimizar la coordinación y ejecución de actividades en contextos multinacionales, tomando como caso de estudio el proyecto de control de olores en una planta de celulosa en Brasil.

5.2. Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de situación base en planta de celulosa
- Analizar los principales desafíos en la gestión de proyectos de control de olores en una planta de celulosa multinacional.
- Aplicar metodologías de gestión de proyectos adecuadas para contextos multinacionales.
- Desarrollar herramientas y procesos para mejorar la coordinación entre las partes interesadas en diferentes países.
- Medir mejoras en la eficiencia de gestión de proyectos evaluando indicadores clave.

6. Marco Teórico

6.1. Contexto de Olores Global

Los olores son una de las principales fuentes de quejas ambientales en todo el mundo. A menudo, las emisiones de olores pueden provenir de fuentes tanto naturales como antropogénicas, como la agricultura, la industria alimentaria y los residuos. La regulación y el control de los olores son complejos y varían ampliamente entre diferentes países. Las legislaciones y políticas relacionadas con los olores varían considerablemente entre regiones del mundo, siendo Europa, América del Norte, América del Sur, Oceanía y Asia algunos de los continentes más activos en cuanto a la regulación de emisiones odorantes (Bokowa et al., 2021).

En Europa, el marco regulador está fuertemente influenciado por la Directiva de Emisiones Industriales (IED), que cubre un amplio espectro de actividades industriales. Sin embargo, las normativas varían dentro de cada país. Países como Francia, Alemania y España tienen normativas específicas para el manejo de olores en ciertas industrias, como el procesamiento de subproductos animales y plantas de compostaje (Bokowa et al., 2021).

En América del Norte, tanto Estados Unidos como Canadá han establecido normativas que varían según el estado o provincia, lo que genera diferencias significativas en la aplicación de las regulaciones sobre el control de olores. En América del Sur, países como Argentina y Colombia han avanzado en la implementación de normativas para mitigar los impactos de los olores. En Argentina, las regulaciones están más enfocadas en actividades industriales y agrícolas, mientras que en Colombia se busca una gestión que abarque tanto entornos urbanos como rurales (Bokowa et al., 2021).

6.2. Contexto de Olores en Chile y Brasil

En Chile, el control de olores ha adquirido relevancia en los últimos años, especialmente en sectores industriales como la producción de celulosa y en la gestión de residuos. De acuerdo con la legislación chilena, las emisiones de olores en actividades industriales deben ser monitoreadas y gestionadas para minimizar el impacto en las comunidades circundantes. Uno de los desafíos en Chile ha sido la falta de un marco legislativo claro a nivel nacional, lo que ha llevado a algunas regiones, como la región de Los Ríos, a desarrollar normativas específicas.

Además, Chile ha implementado una estrategia nacional de control de olores que prioriza rubros como el sector porcino, la producción pesquera, la industria de celulosa y papel, y las plantas de tratamiento de aguas residuales (Ministerio de Medio Ambiente, 2017). Ya se ha establecido una normativa específica para el sector porcino (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2020), y se espera que próximamente se oficialice la norma para el sector pesquero (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023), lo que demuestra un avance significativo en la regulación de emisiones odorantes en estos sectores clave.

Brasil, por otro lado, ha centrado sus esfuerzos en controlar los olores en actividades agrícolas y de procesamiento de alimentos, que son fuentes significativas de emisiones odorantes. A pesar de que no existe una legislación federal clara en Brasil sobre el control de olores, algunas ciudades han comenzado a implementar normativas locales que buscan mitigar el impacto de las emisiones odorantes en zonas rurales y urbanas.

En este contexto, la demanda de soluciones tecnológicas y servicios especializados para la mitigación de olores ha incrementado, lo que ha generado el alza de empresas dedicadas al mercado de control de emisiones odorantes, tanto a nivel regional como global.

6.3. Empresas Dedicadas al Mercado de Olores

Los pasos básicos para lidiar con un problema de olores, según el documento 'Instructivo para la Elaboración de un Plan de Gestión de Olores (PGO)', se dividen en cuatro etapas clave (del Medio Ambiente de Chile, 2019). Estas incluyen:

- **Diagnóstico:** Identificar la situación odorante en la instalación y las fuentes emisoras de olor. Esto involucra la caracterización de las emisiones y el análisis del entorno receptor.
- **Medidas a Implementar:** Definir un plan de trabajo con las acciones para reducir o controlar las emisiones. Estas medidas pueden incluir la implementación de buenas prácticas operacionales, tecnologías de control, encapsulamiento de fuentes, entre otras.
- **Seguimiento y Control:** Establecer un programa de monitoreo y control para garantizar que las medidas implementadas sean efectivas. Aquí se definen indicadores de cumplimiento y frecuencias de control.
- **Contingencia:** Diseñar un programa para responder ante situaciones imprevistas que puedan generar un aumento en las emisiones de olores, estableciendo responsables y acciones correctivas.

En relación a estos pasos, existen empresas especializadas que pueden involucrarse en cada una de estas etapas. Por ejemplo, las empresas de monitoreo ambiental pueden colaborar en el diagnóstico y seguimiento, mientras que otras empresas dedicadas a las tecnologías de control de emisiones pueden proporcionar soluciones para reducir o contener los olores. Adicionalmente, algunas compañías ofrecen consultoría para la implementación de buenas prácticas operacionales y para la gestión de programas de contingencia.

Estas actividades se alinean con el mercado en el que participa **The Synergy Group SpA.**, empresa especializada en soluciones de control de olores y emisiones atmosféricas, la cual será el foco de la siguiente sección.

6.4. The Sinergy Group SpA.

The Synergy Group (TSG) es una empresa pionera en Sudamérica en la gestión integral de olores y gases, fundada en 1995 (Environmental, 2024). TSG se ha consolidado como una empresa integrada verticalmente, lo que significa que participa en todas las etapas de una solución de olores, desde el diagnóstico hasta el monitoreo en tiempo real de la situación odorante. Su enfoque integral permite a TSG abordar de manera completa las necesidades de sus clientes en la mitigación y control de emisiones odorantes.

La empresa ofrece soluciones integrales y personalizadas, cubriendo diversas áreas relacionadas con la gestión de olores. Estas incluyen ingeniería en olores, control de emisiones odorantes, consultoría en temas de olores, y la operación de laboratorios especializados en gases y olores. Además, su experiencia se extiende al monitoreo medioambiental, la medición y seguimiento de emisiones de gases, y la implementación de estrategias de sustentabilidad en los proyectos.

TSG se destaca por ser un socio estratégico para sus clientes, brindando asesoría y soluciones a medida que garantizan la continuidad operativa y la prevención de incidentes relacionados con las emisiones de gases y olores. A través de su enfoque integral, TSG no solo identifica y monitorea los problemas, sino que también implementa soluciones que permiten a las empresas cumplir con las normativas ambientales, mejorar su imagen y minimizar el impacto ambiental de sus actividades. Estas soluciones son fundamentales para gestionar de manera eficiente las emisio-

nes de olores, un aspecto clave en diversas industrias que enfrentan desafíos significativos en este ámbito.

6.5. Emisiones de Olores

El olor se define como una 'propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias volátiles' (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2010). Estas sustancias volátiles pueden ser percibidas por el sentido del olfato cuando están presentes en concentraciones suficientes en el aire. La gestión de las emisiones de olores es esencial en diversas industrias debido a su impacto potencial en las comunidades cercanas, así como en el bienestar de los trabajadores. En esta sección, se aborda cómo se cuantifican y controlan estas emisiones, además de los métodos más comunes para su medición y gestión.

Unidad de Olor Europea (ouE) Para medir las emisiones de olor, se utiliza una métrica estándar conocida como Unidad de Olor Europea (ouE). Esta unidad cuantifica la concentración de olor en un metro cúbico de aire, expresando la cantidad de una sustancia odorante que produce una respuesta perceptible por un grupo de panelistas. Por definición, 1 ouE/m³ es la concentración en la que el 50 % del panel de personas puede detectar la presencia de un olor. Este sistema permite estandarizar la medición de olores, facilitando su comparación y regulación (Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), 2019).

Métodos de Medición de Olores Existen diversos métodos de medición de olores, sin embargo, el más comúnmente utilizado es la olfatometría dinámica (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2010), que mide la respuesta de un panel entrenado a estímulos olfativos. En este proce-

so, los panelistas inhalan aire que contiene olores en concentraciones diluidas hasta identificar el umbral de detección. Este método se lleva a cabo utilizando un dispositivo llamado olfatómetro dinámico. Además de la olfatometría, se emplean modelos de dispersión de olor que predicen cómo se dispersan las emisiones de una fuente a través de una zona específica, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas y geográficas.

Tasa de Emisión de Olor (TEO) Otro concepto clave es la Tasa de Emisión de Olor (TEO), que corresponde a la cantidad de sustancias olorosas que se emiten desde una fuente por unidad de tiempo. Se expresa generalmente en unidades como [ouE/h], lo que permite estimar la magnitud de las emisiones odorantes provenientes de diversas actividades industriales (Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), 2019). La TEO se calcula multiplicando la concentración de olor por la velocidad y área de la salida de la fuente, o bien por la tasa de volumen de flujo. Este cálculo es crucial para determinar la cantidad de olor que llega a las áreas circundantes.

Fuentes de Emisiones de Olores Las fuentes de emisión de olores pueden clasificarse en fuentes puntuales, como chimeneas o válvulas de escape, y fuentes difusas, que incluyen superficies abiertas o actividades como el compostaje. Cada tipo de fuente requiere un enfoque diferente en su control y monitoreo. Las industrias que generan olores incluyen plantas de tratamiento de aguas, rellenos sanitarios, instalaciones agrícolas, y plantas de procesamiento de alimentos, entre otras. Las características de la fuente determinan el tipo de medida de control necesaria para mitigar las emisiones (Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), 2019).

Receptores de Olor Un aspecto crucial en la gestión de olores es la presencia de receptores de olor, que son personas expuestas a las emisiones generadas por una fuente. Estos receptores suelen

habitar o trabajar cerca del área de influencia de la fuente emisora. La gestión de olores no solo se basa en la reducción de la concentración de olores, sino también en minimizar las molestias percibidas por los receptores cercanos, ya que los olores pueden impactar directamente la calidad de vida de las comunidades (Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), 2019).

Caracterización de Olores La caracterización de olores es un paso importante para identificar el tipo de emisión y su impacto. Los olores pueden variar en intensidad, hedonicidad (si son agradables o desagradables), y su perfil olfativo. Para describir los olores, se utilizan herramientas como la rueda de olores, que clasifica los olores en categorías principales como florales, frutales, amaderados, químicos, y otros, lo que permite tener una referencia común para su identificación.

A través de esta caracterización, es posible determinar el tipo de olor predominante en una emisión y, por lo tanto, implementar medidas específicas de mitigación. La identificación precisa del tipo de olor es crucial para resolver los problemas de emisión, ya que diferentes fuentes y procesos industriales generan olores únicos que requieren tratamientos distintos.

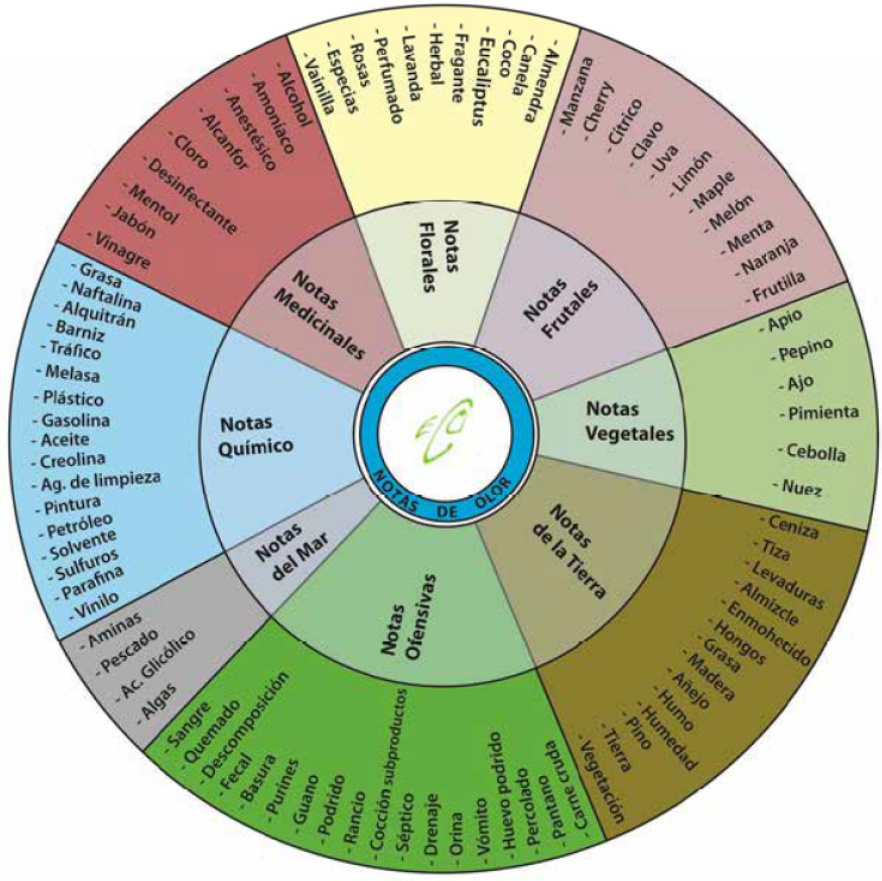


Figura 1: Rueda general de notas de olor (Fuente: *SEA*, 2023)

Esta rueda de olores es una herramienta visual que facilita la identificación y clasificación de los olores en función de su fuente y naturaleza. A través del uso de la rueda, los técnicos y operadores pueden identificar rápidamente las características olfativas de una emisión y tomar decisiones informadas sobre el mejor enfoque para controlar y mitigar las molestias ocasionadas a las comunidades cercanas.

La combinación de herramientas como la rueda de olores, la olfatometría dinámica, y la tasa de emisión de olores proporciona un marco robusto para la gestión efectiva de las emisiones odorantes.

Receptores de Olor Un aspecto crucial en la gestión de olores es la presencia de receptores de olor, que son personas expuestas a las emisiones generadas por una fuente. Estos receptores suelen habitar o trabajar cerca del área de influencia de la fuente emisora. La gestión de olores no solo se basa en la reducción de la concentración de olores, sino también en minimizar las molestias percibidas por los receptores cercanos, ya que los olores pueden impactar directamente la calidad de vida de las comunidades (Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), 2019).

6.6. Olores en el Proceso de la Celulosa

El proceso de elaboración de la celulosa consta de varias etapas clave, cada una de las cuales puede generar emisiones de olor que pueden ser perjudiciales para la salud y el bienestar de las comunidades cercanas. El proceso comienza con la obtención de la materia prima, que generalmente es madera, la cual pasa por un proceso de astillado para convertirla en pequeñas virutas. Estas virutas son tratadas en la etapa de cocción, donde se eliminan las ligninas que mantienen unidas las fibras de celulosa. Durante esta etapa, se utilizan productos químicos como el sulfuro de sodio y el hidróxido de sodio, generando gases olorosos que pueden ser emitidos al ambiente.

Después de la cocción, las fibras se separan del licor negro, una mezcla de ligninas disueltas y otros compuestos orgánicos que, si no se maneja adecuadamente, puede emitir gases odorantes. El licor negro se somete a un proceso de recuperación química en el que se recuperan productos químicos útiles para reutilizar en el proceso. A pesar de que este proceso es eficiente en términos de reutilización de recursos, también puede ser una fuente significativa de emisiones odorantes si no se controla correctamente.

Otra etapa importante es el blanqueo, donde se usan productos químicos como el cloro o

peróxidos para mejorar la calidad de la celulosa. Durante esta fase también pueden liberarse olores fuertes si los gases resultantes no son adecuadamente tratados. Finalmente, la pasta de celulosa es secada y convertida en hojas o rollos de papel, pero a lo largo de este proceso, las emisiones olorosas pueden seguir siendo un desafío si no se implementan medidas adecuadas de control (Ence, 2023).

En cada una de estas etapas, las emisiones de olores son un tema crítico. Además de ser molestas para los residentes cercanos, algunas de las sustancias emitidas, como el sulfuro de hidrógeno, pueden tener efectos adversos en la salud humana si se inhalan en concentraciones elevadas.

Es importante señalar que, en la industria de la celulosa, se ha desarrollado una rueda de notas de olores específica para caracterizar las emisiones odorantes provenientes de los diferentes procesos. Esta herramienta permite una mejor identificación y clasificación de los olores para tomar decisiones más informadas en cuanto a su control y mitigación.

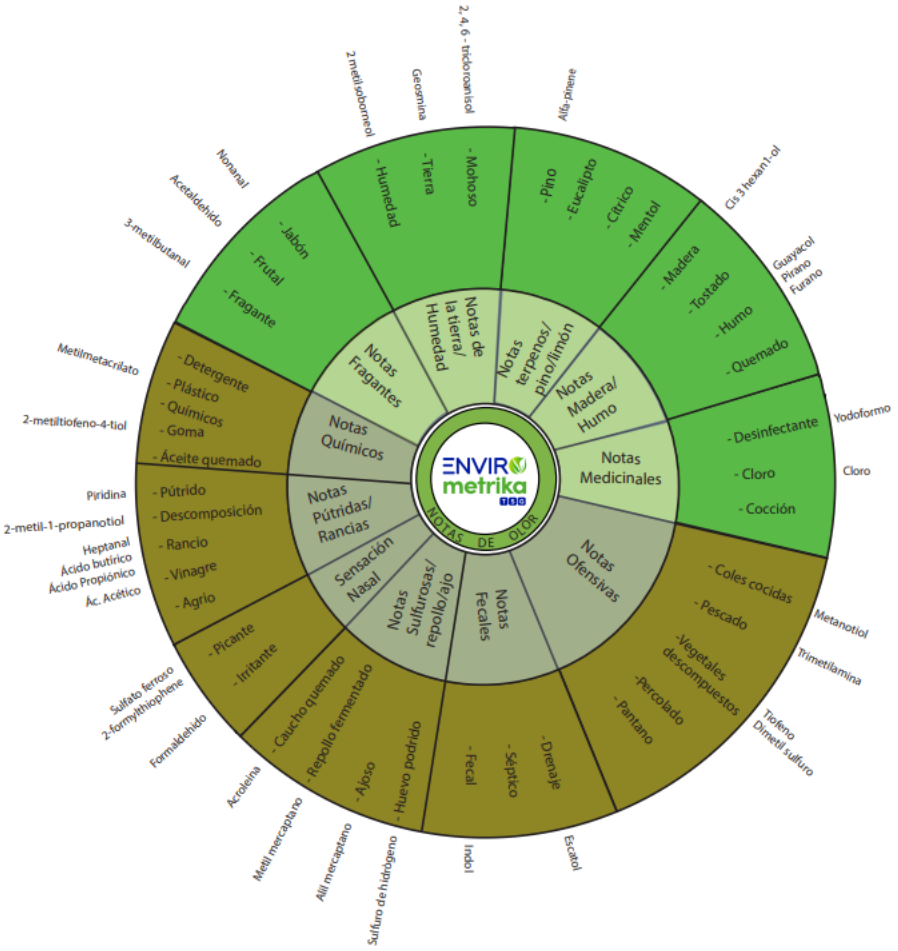


Figura 2: Rueda de notas de olor de la industria papelera (Fuente: *Informe interno TSG*, 2023)

Con esta rueda de olores, los analistas pueden identificar los compuestos específicos emitidos durante cada fase del proceso, lo que facilita la implementación de medidas más efectivas para la reducción de malos olores y la mejora de la calidad del aire en los alrededores de las plantas de celulosa. Estas herramientas son esenciales para garantizar un diagnóstico odorante correcto y permite tomar decisiones más acertadas A continuación, se detallará el caso específico de la planta de celulosa en estudio, la cual pertenece a una empresa del sector dedicada a la producción y procesamiento de celulosa.

6.7. Planta de Celulosa Estudiada

La planta de celulosa pertenece a una grann empresa multinacional en la industria de la celulosa y el papel en América Latina. Esta empresa cuenta con una larga trayectoria en la producción y comercialización de productos derivados de la madera, como celulosa, papel, productos de embalaje y productos de higiene personal.

La compañía opera en varios países de América Latina, con plantas de producción distribuidas en diversas regiones. Una de sus plantas más importantes se encuentra en Brasil, **esta será la planta utilizada para el caso de estudio**.

Esta empresa multinacional se compromete a operar bajo prácticas sostenibles, implementando medidas que buscan minimizar el impacto ambiental en todas sus operaciones. La gestión eficiente de los recursos naturales y la reducción de las emisiones contaminantes son pilares fundamentales en su estrategia ambiental.

Una de las principales plantas de la empresa ha enfrentado desafíos relacionados con la emisión de olores generados por sus procesos industriales. Esto ha motivado la búsqueda de soluciones efectivas para mitigar los impactos ambientales, mejorar la calidad del aire y reducir las quejas de la comunidad circundante.

6.8. Problema Odorante en Caso de Estudio

La planta de celulosa bajo estudio es una instalación de gran envergadura, ubicada en una zona rodeada completamente por comunidades residenciales. Esta proximidad ha generado una serie de conflictos debido a los malos olores que emanan de la planta. Entre enero de 2021 y diciembre de 2023, se registraron un total de 158 reclamos formales por parte de los residentes de la

zona (no se entregarán referencias por tema de confidencialidad), quienes describieron la persistencia de olores desagradables provenientes de la planta. Algunos de estos reclamos mencionaron incluso síntomas más severos, como irritación en la nariz, lo que destaca la gravedad del problema odorante en la región.

Para investigar estos reclamos, miembros del equipo de TSG realizaron una visita a la planta en Brasil con el objetivo de verificar la situación en terreno. Durante su inspección, pudieron percibir diversas notas de olor, lo que confirmó la presencia de compuestos odorantes emitidos por la planta de celulosa. Entre las notas detectadas, se encontraron olores característicos de coles cocidas, asociados con la presencia de metanotiol, un compuesto característico en plantas de celulosa. También se identificaron notas de pescado, relacionadas con la trimetilamina, y de vegetales descompuestos, vinculadas al tiofeno y dimetil sulfuro. Otros olores percibidos fueron descripciones de percolado y pantano, los cuales generan molestias significativas a los residentes cercanos.

El problema odorante planteado por la planta de celulosa ha afectado la calidad de vida de las comunidades vecinas, generando la necesidad de una solución integral que permita mitigar el impacto ambiental y mejorar la convivencia entre la industria y los residentes. Este análisis de la situación odorante plantea el contexto necesario para entender la urgencia de actuar sobre el problema.

6.9. Contexto del Proyecto de Olores

El *Proyecto de Control de Olores en Planta de Celulosa en Brasil* tiene como objetivo principal instalar un sistema de abatimiento de olores en una planta de celulosa de grandes dimensiones en Brasil. Esta instalación debe ser lo más eficiente posible para asegurar que no se liberen

olores hacia las comunidades aledañas. Este proyecto es crucial para la planta de celulosa, ya que, de tener éxito, reducirá significativamente los reclamos por olores de la comunidad, mejorando así el vínculo entre la industria y la comunidad e incrementando la sustentabilidad de la empresa.

Antes de iniciar el proyecto, la empresa encargada de la planta de celulosa ya tenía contratada a otro proveedor para realizar el abatimiento de olores dentro de la planta. Sin embargo, la empresa seguía enfrentando una gran cantidad de reclamos en los últimos años.

La empresa a cargo de la planta de celulosa decidió contratar a TSG porque ya tenía experiencia previa con ellos como proveedor de servicios en otras plantas de celulosa en Chile. Esta relación previa permitió a la empresa confiar en la calidad y eficiencia del trabajo de TSG. Además, las habilidades específicas de TSG para realizar este proyecto se basan en la calidad de sus estudios y metodologías que utilizan para conseguir la mejor forma de instalación de sus equipos, con el fin de maximizar la neutralización de olores a un mínimo costo para el cliente. No existen demasiadas empresas con presencia en Brasil para este rubro, lo que también hizo de TSG el candidato ideal para llevar a cabo el proyecto.

El proyecto se estructura en varias fases principales:

Estructura del Proyecto Actual:

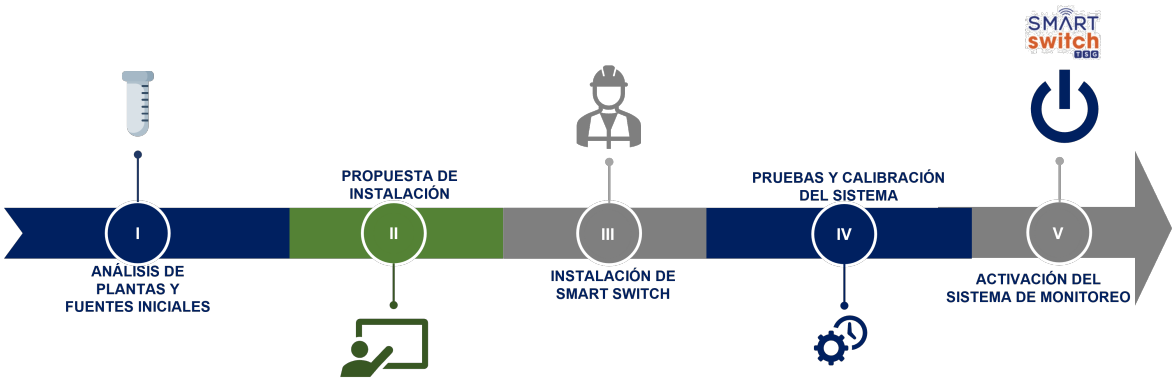


Figura 3: Etapas Principales del *Proyecto de Control de Olores en Planta de Celulosa en Brasil* (Fuente: *Informe interno TSG*, 2024)

1. **Análisis de planta y fuentes iniciales:**

    - **Objetivo principal:**

        - Conocer en detalle la situación odorante de la planta en estudio.

    - **Actividades asociadas:**

        - Análisis de la instalación de abatimiento odorante actual.
        - Análisis de datos y tasas de emisión de olores (TEO).
        - Análisis de dinámica de fluidos computacionales (CFD).
        - Recopilación de información de la planta de celulosa (quejas, temas operativos, percepción, otros).
        - Análisis de potenciales fuentes no cubiertas.
        - Comprender la usabilidad del dashboard.

2. **Propuesta de Instalación:**

    - **Objetivo principal**:

        - Definir las fuentes odorantes que se van a mitigar junto con otros parámetros clave del proyecto.

    - **Actividades asociadas:**

        - Presentación de propuesta técnica de instalación y estudio de viabilidad.
        - Definición de áreas definitivas.
        - Definición de prioridad de instalación.

3. **Instalación de Smart Switch:**

- **Objetivo principal**:
  - Instalar correctamente todo el sistema de abatimiento de olores en la planta de celulosa.
- **Actividades asociadas:**
  - Instalación según plano e interacción entre las piezas.
  - Entrega de puntos de agua y electricidad según requerimientos.

4. **Pruebas y Calibración del Sistema:**
   - **Objetivo principal**:
     - Verificar el funcionamiento del sistema en acción para chequear posibles ajustes en terreno.
   - **Actividades asociadas:**
     - Pruebas de atomización.
     - Corrección de boquillas de atomización.
     - Ajuste de dosis normal y de emergencia.
     - Pruebas de activación y desactivación del sistema actual.
5. **Activación del Sistema de Monitoreo:**
   - **Objetivo principal**:
     - Obtener el visto bueno por parte del cliente para dar inicio al servicio 24x7 del sistema de abatimiento de gases.
   - **Actividades asociadas:**

- Retroalimentación y aprobación del área por parte del cliente.
- Inicio del servicio 24x7.
- Programación y realización de mantenciones preventivas.

7. Metodologías

7.1. Fuentes de Información

Para desarrollar este estudio, se utilizan diversas fuentes de información tanto primarias como secundarias. Las fuentes primarias incluyen entrevistas y reuniones con los gerentes de proyecto y los ingenieros de TSG. Las fuentes secundarias abarcan una revisión de la literatura existente sobre gestión de proyectos, métodos de control de olores y normativas ambientales, así como la consulta de artículos académicos e informes técnicos.

Se realiza una revisión de la literatura para comprender las teorías y prácticas actuales en la gestión de proyectos y el control de olores. Esta revisión incluye artículos académicos, libros, informes técnicos y normativas relevantes, con el fin de establecer una base teórica sólida para el estudio.

7.2. Método de Trabajo y Aplicación

Basándose en los hallazgos del diagnóstico inicial y la revisión de la literatura, se desarrolla un sistema de gestión de proyectos utilizando el Método del Camino Crítico (CPM) y el ciclo de Deming (Plan-Do-Check-Act). Este sistema se diseña para ser adaptable y eficiente, optimizando la coordinación y ejecución de actividades en contextos multinacionales. Una vez construidas y aplicadas estas herramientas, se realizará un análisis en particular para cada una de ellas, además de un análisis de la sinergia que existe en el uso de ambas herramientas.

7.2.1. Método QC STORY

El QC STORY es una metodología de mejora continua ampliamente utilizada en la gestión de calidad y resolución de problemas. Basado en el Ciclo de Deming, el QC STORY sigue una estructura de mejora iterativa, pero se distingue por su enfoque más detallado y sistemático, que incluye pasos específicos para la identificación, análisis, y solución de problemas.

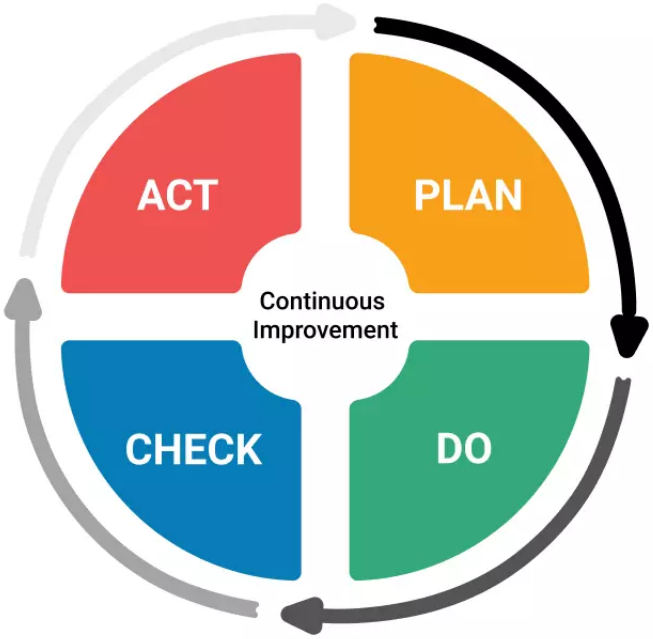


Figura 4: Diagrama del Ciclo de Deming (Fuente: *Ahaslides, 2023*)

Descripción del Método QC STORY El QC STORY se organiza en siete etapas claras y bien definidas, cada una de las cuales se enfoca en un aspecto crítico para abordar un problema de manera estructurada y efectiva:

1. Identificación del problema: Consiste en reconocer y definir claramente el problema a resolver, con una evaluación de su impacto en el proyecto. Aquí se cuantifican los efectos

negativos que el problema tiene sobre la operación.

2. Observación: En esta fase, se recopilan datos e información relevante que permitan una comprensión más profunda del problema. La observación incluye la identificación de las principales variables que afectan la situación y el análisis de la situación actual.

3. Análisis: Se realiza un análisis detallado de las causas del problema. Para ello, se emplean herramientas como el Diagrama de Ishikawa (o diagrama de causa-efecto) y el análisis de Pareto, que ayudan a priorizar las causas principales.

4. Plan de acción: Con las causas identificadas, se elabora un plan detallado para abordar las causas principales del problema. Este plan incluye acciones específicas, responsables, recursos, y un cronograma de implementación.

5. Implementación de acciones (Do): En esta etapa, se ejecutan las acciones planificadas. Se trata de poner en práctica las soluciones propuestas con el objetivo de mitigar o eliminar las causas identificadas.

6. Verificación de resultados (Check): Tras la implementación de las acciones, se verifica si las soluciones implementadas han tenido el impacto esperado. Se utilizan indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar el éxito de las acciones.

7. Estandarización y conclusiones (Act): Si las acciones han sido exitosas, se procede a estandarizar las soluciones para evitar que el problema vuelva a ocurrir. Esto incluye documentar los cambios y asegurar que se mantengan en el futuro. En caso de que las acciones no hayan sido exitosas, se revisa el plan y se implementan nuevas medidas correctivas.

7.2.2. Método del Camino Crítico (CPM)

El Método del Camino Crítico (CPM) es una técnica de gestión de proyectos que identifica las tareas críticas necesarias para completar un proyecto. Su propósito es optimizar el tiempo y los recursos mediante la identificación de las actividades que no se pueden retrasar sin afectar el plazo del proyecto.

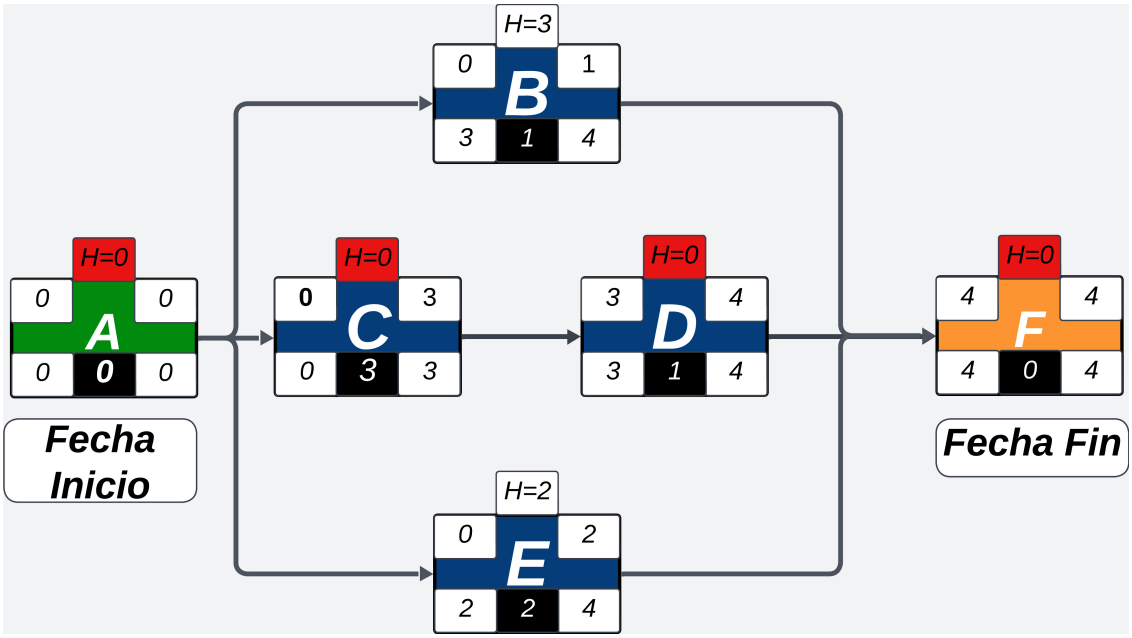


Figura 5: Esquema Método CPM (Fuente: *Elaboración propia*)

Aplicación del CPM en el Proyecto

El CPM se aplica como una herramienta de control de proyectos, creando y actualizando el diagrama a medida que el proyecto sigue su curso.

Los pasos para identificar el camino crítico en el proyecto son:

- **Identificación de Actividades:** Identificar todas las actividades generales del proyecto.
- **Duración de Actividades:** Determinar la duración prevista de cada actividad.

- **Dependencias:** Establecer dependencias entre actividades, identificando qué tareas deben completarse antes de que otras puedan comenzar.

- **Cálculo del Camino Crítico:** Calcular la duración del proyecto y la ruta crítica del mismo, identificando las actividades críticas que no pueden retrasarse sin afectar la fecha de finalización del proyecto.

Una vez terminado este proceso, el diagrama de CPM entregará la ruta crítica del proyecto, mediante esta se harán distintos análisis para la gestión del control del proyecto.

7.2.3. Cómo Leer los Diagramas CPM

Cada diagrama CPM es un grafo, por lo tanto se compone tanto de Nodos (Actividades) como de Arcos (Relaciones). A continuación se detalla el funcionamiento de cada uno de los elementos:

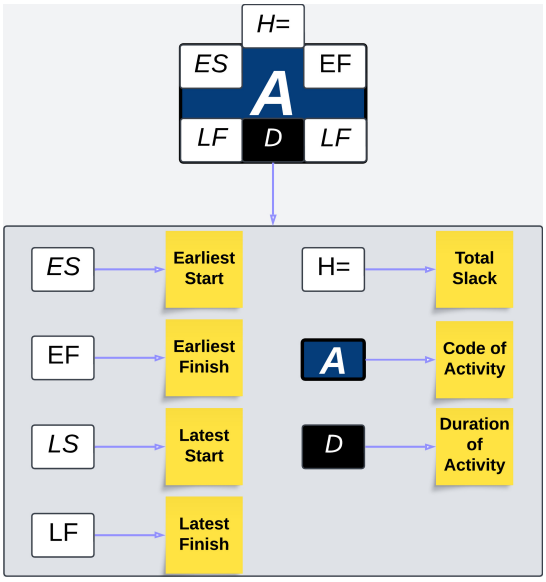


Figura 6: Descripción de elementos de las actividades (Fuente: *Elaboración propia*)

Actividades

ES (Earliest Start): Indica el inicio más temprano en el que una actividad puede comenzar sin retrasar el proyecto. Se calcula basado en la duración de las actividades predecesoras.

EF (Earliest Finish): Indica el final más temprano en el que una actividad puede completarse. Es el ‘Earliest Start‘ más la duración de la actividad.

LS (Latest Start): Indica el inicio más tardío en el que una actividad puede comenzar sin retrasar la fecha de finalización del proyecto. Se calcula restando la duración de la actividad al ‘Latest Finish‘.

LF (Latest Finish): Indica el final más tardío en el que una actividad puede completarse sin retrasar el proyecto. Es el último momento en el que la actividad debe terminar para no afectar la ruta crítica.

H (Total Slack): Representa el tiempo de holgura total disponible. Es la diferencia entre el ‘Latest Finish‘ y el ‘Earliest Finish‘ (o entre el ‘Latest Start‘ y el ‘Earliest Start‘). Indica cuánto puede retrasarse una actividad sin afectar la fecha de finalización del proyecto.

A (Code of Activity): Es el identificador único de la actividad en el proyecto. Ayuda a referenciar y seguir cada tarea dentro del cronograma.

D (Duration of Activity): Indica la duración total de la actividad en unidades de tiempo, en este caso semanas.

Relaciones

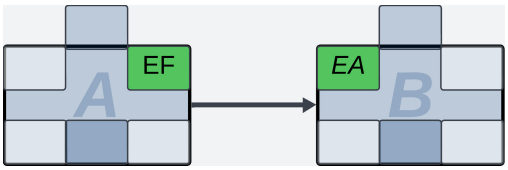


Figura 7: Representación de relación Finish to Start (Fuente: *Elaboración propia*)

Finish to Start (FS) Es la relación más común y se utiliza por defecto si no se especifica otra. En esta relación, la actividad sucesora no puede comenzar hasta que la actividad predecesora haya finalizado. Por ejemplo, si la Actividad A debe finalizar antes de que la Actividad B comience, se utiliza FS.

$$ES_B = EF_A + \text{Lag}$$

donde ES_B es el inicio temprano de la actividad B, EF_A es el final temprano de la actividad A, y Lag es el desfase (puede ser positivo o negativo) (Kreis et al., 2019).

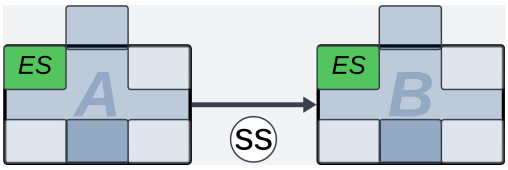


Figura 8: Representación de relación Start to Start (Fuente: *Elaboración propia*)

Start to Start (SS) En esta relación, la actividad sucesora puede comenzar una vez que la actividad predecesora haya comenzado. Ambas actividades pueden continuar simultáneamente, pero la sucesora no puede comenzar antes del inicio de la predecesora. Por ejemplo, si la Actividad A y la Actividad B pueden comenzar al mismo tiempo, pero la B no puede empezar antes de la A, se utiliza SS.

$$ES_B = ES_A + \text{Lag}$$

donde ES_B es el inicio temprano de la actividad B, ES_A es el inicio temprano de la actividad

A, y Lag es el desfase (puede ser positivo o negativo) (Kreis et al., 2019).

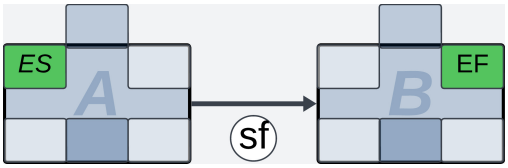


Figura 9: Representación de relación Start to Finish (Fuente: *Elaboración propia*)

Start to Finish (SF) Es una relación menos común. En esta, la actividad sucesora no puede finalizar hasta que la actividad predecesora haya comenzado. Es útil en situaciones donde la finalización de una tarea depende del inicio de otra. Por ejemplo, si la Actividad B no puede finalizar hasta que la Actividad A comience, se utiliza SF.

$$LF_B = ES_A + \text{Lag}$$

donde LF_B es el final tardío de la actividad B, ES_A es el inicio temprano de la actividad A, y Lag es el desfase (puede ser positivo o negativo) (Kreis et al., 2019).

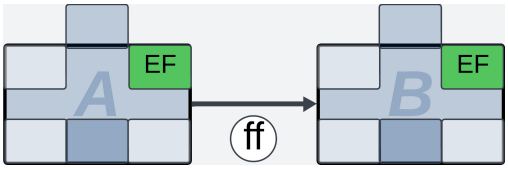


Figura 10: Representación de relación Finish to Finish (Fuente: *Elaboración propia*)

Finish to Finish (FF) En esta relación, la actividad sucesora no puede finalizar hasta que la actividad predecesora haya finalizado. Ambas actividades pueden realizarse simultáneamente, pero la sucesora no puede finalizar antes de la predecesora. Por ejemplo, si la Actividad A y la Actividad B deben finalizar al mismo tiempo, pero B no puede terminar antes de A, se

utiliza FF.

$$EF_B = EF_A + \text{Lag}$$

donde EF_B es el final temprano de la actividad B, EF_A es el final temprano de la actividad A, y Lag es el desfase (puede ser positivo o negativo) (Kreis et al., 2019).

Lead (Desfase)

En la planificación de proyectos utilizando el método del Camino Crítico (CPM), el término **Lead** o **Desfase** se refiere al tiempo adicional que se permite o se requiere entre la actividad predecesora y la sucesora. Este concepto es aplicable a diferentes tipos de relaciones entre actividades, como Finish to Start (FS), Start to Start (SS), Finish to Finish (FF), y Start to Finish (SF).

El Lead puede ser positivo o negativo:

- **Lead Positivo (Desfase)**: Un lead positivo implica un retraso entre la finalización de la actividad predecesora y el inicio de la sucesora. Por ejemplo, en una relación FS con un lead de +1 semana, la actividad sucesora comienza una semana después de la finalización de la actividad predecesora. Esto es útil para modelar situaciones donde es necesario un período de espera, como permitir que una tarea completada se asiente o se cure antes de proceder con la siguiente actividad.

- **Lead Negativo (Adelanto)**: Un lead negativo, también conocido como adelanto, indica que la actividad sucesora puede comenzar antes de que la actividad predecesora haya finalizado. Por ejemplo, en una relación FS con un lead de -1 semana, la actividad sucesora puede comenzar una semana antes de que la predecesora haya terminado. Esto es útil en situaciones donde las tareas pueden solaparse para acelerar el proceso.

Las fórmulas para calcular los tiempos dependiendo de cada relación con Lead se muestran a continuación:

Finish to Start con Lead (FS)

$$ES_B = EF_A + \text{Lead}$$

donde ES_B es el inicio temprano de la actividad B, EF_A es el final temprano de la actividad A, y Lead es el desfase (puede ser positivo o negativo).

Start to Start con Lead (SS)

$$ES_B = ES_A + \text{Lead}$$

donde ES_B es el inicio temprano de la actividad B, ES_A es el inicio temprano de la actividad A, y Lead es el desfase (puede ser positivo o negativo).

Start to Finish con Lead (SF)

$$LF_B = ES_A + \text{Lead}$$

donde LF_B es el final tardío de la actividad B, ES_A es el inicio temprano de la actividad A, y Lead es el desfase (puede ser positivo o negativo).

Finish to Finishcon Lead (FF)

$$EF_B = EF_A + \text{Lead}$$

donde EF_B es el final temprano de la actividad B, EF_A es el final temprano de la actividad A, y Lead es el desfase (puede ser positivo o negativo).

En los diagramas CPM, el lead se representa generalmente con un valor numérico junto a la

relación entre actividades. Un hexágono con '+1' indica un lead positivo de una semana, mientras que un hexágono con '-1' indica un lead negativo de una semana.

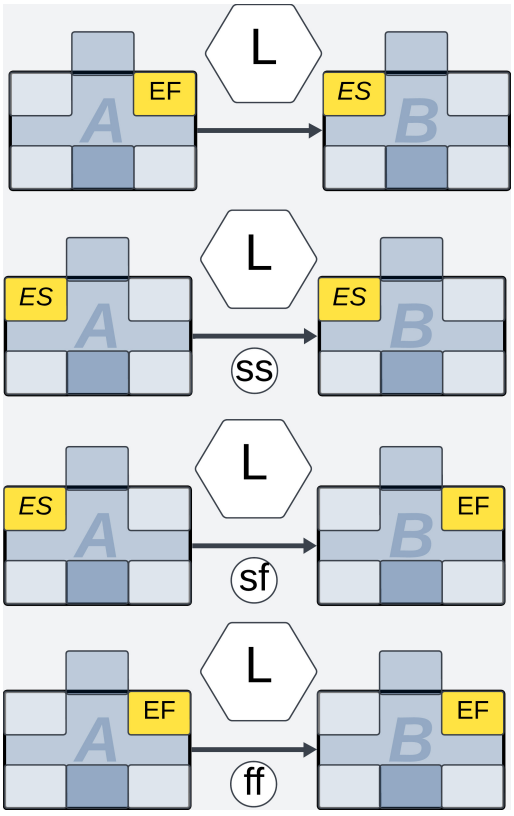


Figura 11: Representación de distintas relaciones con Lead (Fuente: *Elaboración propia*)

Actividad de Inicio (Verde) En el diagrama CPM, la actividad de inicio está representada en color verde (Ver Figura 5). Esta es la primera actividad que da comienzo al proyecto. En este caso, la actividad A es la actividad inicial con un tiempo de inicio temprano (ES) y un tiempo de finalización temprano (EF) ambos iguales a 0, lo que indica que comienza inmediatamente sin retraso.

Fecha Inicio La 'Fecha Inicio' indica el comienzo formal del proyecto, determinado por el inicio de la primera actividad. En el diagrama, esto se representa como la primera caja (A) con los valores de tiempo en 0. Este es el punto de partida desde el cual se miden todas las demás

actividades y tiempos.

Actividad de Fin (Naranjo) La actividad de fin, marcada en color naranja (Ver Figura 5), representa la última actividad que debe completarse para finalizar el proyecto. En el diagrama, esta es la actividad F. Los tiempos en esta actividad indican que debe finalizar con sus tiempos temprano (EF) y tardío (LF) establecidos, y no debe retrasarse.

Fecha Fin La 'Fecha Fin' es el tiempo total del proyecto, determinado por la finalización de la actividad de fin. En el diagrama, esto está indicado por la actividad 'F', que muestra que el proyecto termina cuando esta actividad concluye. Los valores en el diagrama muestran que la actividad final debe terminar a las 4 semanas.

Ruta Crítica (H=0) La ruta crítica en un diagrama CPM es el camino más largo a través del proyecto que determina la duración total del proyecto. Las actividades en la ruta crítica no tienen holgura (H=0), lo que significa que cualquier retraso en estas actividades retrasará el proyecto completo. En el diagrama, las actividades en la ruta crítica están marcadas con un valor de H=0 y están resaltadas en rojo en la parte superior (Ver Figura 5). Estas incluyen las actividades A, C, D y F. La identificación de la ruta crítica es crucial para la gestión del proyecto, ya que cualquier retraso en estas actividades afectará directamente la fecha de finalización del proyecto.

7.2.4. Sinergia entre Ciclo de Deming y CPM

La elección conjunta del Ciclo de Deming y CPM no solo se justifica por sus beneficios individuales, sino también por la sinergia que se genera al combinarlas. Esta combinación permite una gestión de proyectos más eficaz y robusta. A continuación, se explica cómo estas metodologías

se complementan y potencian entre sí:

Complementación de Enfoques Cualitativos y Cuantitativos: Mientras que el Ciclo de Deming proporciona un enfoque cualitativo para la mejora continua, el CPM ofrece un análisis cuantitativo de las tareas críticas. Esta combinación asegura que no solo se están mejorando continuamente los procesos, sino que también se está optimizando el tiempo y los recursos basados en datos concretos.

Retroalimentación y Ajustes Oportunos: El Ciclo de Deming, con sus ciclos de verificación y actuación, permite revisar continuamente los resultados del CPM. Si se identifican nuevas tareas críticas o se producen cambios en la secuencia de actividades, el Ciclo de Deming puede adaptarse rápidamente para abordar estos cambios y ajustar los planes de mejora en consecuencia.

Gestión Eficiente de Reuniones y Decisiones: En las reuniones semanales, los resultados del CPM pueden presentarse y discutirse en el contexto del Ciclo de Deming. Esto permite una toma de decisiones más informada y basada en datos, asegurando que las mejoras planificadas se alineen con las necesidades críticas del proyecto.

Alineación de Objetivos y Recursos: Al utilizar el Ciclo de Deming para planificar mejoras y el CPM para identificar tareas críticas, se asegura que los recursos se asignen de manera óptima para alcanzar los objetivos del proyecto. Esto crea una alineación estratégica entre la planificación de mejoras y la gestión de tareas críticas.

Prevención y Mitigación de Riesgos: El Ciclo de Deming permite una revisión constante de los riesgos identificados a través del CPM. Al verificar y ajustar continuamente los planes, se pueden identificar y mitigar riesgos potenciales antes de que afecten significativamente el proyecto.

Documentación y Seguimiento Eficiente: La estructura del Ciclo de Deming facilita la documentación de las mejoras y cambios implementados, mientras que el CPM proporciona una

referencia clara de las actividades y dependencias críticas. Esto mejora el seguimiento y control del proyecto, asegurando que todos los cambios y ajustes se registren y analicen adecuadamente.

7.2.5. Resultados Esperados

Se espera que la aplicación del Ciclo de Deming y CPM mejore la eficiencia y la efectividad de la gestión del proyecto, minimizando los retrasos y optimizando el uso de recursos. La combinación de estas metodologías permite una gestión más ágil y proactiva, facilitando la identificación y solución de problemas en tiempo real.

8. Alcance

El alcance de esta memoria es desarrollar un sistema de gestión de proyectos eficiente y adaptable para la implementación de soluciones de control de olores en una planta de celulosa, ubicada en Brasil, durante el periodo de abril de 2024 a agosto de 2024. La investigación se centrará en los procesos de gestión de proyectos de la empresa TSG, aplicando el Método del Camino Crítico (CPM) y el ciclo PDCA.

Este estudio incluirá un análisis detallado de las tareas críticas y no críticas en el cronograma del proyecto, la asignación de recursos, y la evaluación del desempeño del proyecto. Se considerarán los aspectos relacionados con la planificación, ejecución, monitoreo y mejora continua del proyecto. No se abordarán otras metodologías de gestión de proyectos, ni se evaluarán tecnologías alternativas de control de olores fuera del sistema de atomización propuesto. La investigación también identificará los principales desafíos y proporcionará recomendaciones para mejorar la coordinación y ejecución de proyectos multinacionales similares.

9. Análisis y Resultados

9.1. Introducción

Esta sección es la más relevante de esta memoria. El objetivo principal es mostrar lógicamente los resultados obtenidos durante la implementación de las herramientas Ciclo de Deming y CPM en la gestión del proyecto de control de olores en la planta de celulosa multinacional. A través de un análisis completo, se busca justificar estos resultados y demostrar que estas herramientas efectivamente pueden contribuir a una gestión eficiente del proyecto.

Esta sección busca que los lectores puedan comprender que las herramientas Ciclo de Deming y CPM, si se utilizan de manera adecuada, pueden ser muy potentes y eficaces, incluso en la gestión de proyectos de gran envergadura como el caso aplicado en esta memoria.

La implementación de estas metodologías comenzó aproximadamente a la mitad del proyecto. Específicamente, el proyecto se encontraba en el final de la primera etapa: Análisis de Planta y Fuentes Iniciales (Ver sección 6.9). Es importante recalcar que las metodologías no fueron utilizadas desde el inicio. **Las fechas clave para comprender el proyecto y esta memoria son**:

- Fecha de inicio del proyecto: 8 de abril de 2024.
- Fecha de finalización (definida en un principio): 9 de septiembre de 2024.
- Inicio de implementación del Ciclo de Deming y CPM dentro del proyecto: 13 de mayo de 2024.

La sección de Análisis y Resultados está estructurada en varias subsecciones, cada una diseñada para abordar aspectos específicos del análisis y los resultados. Estas subsecciones son:

- **Introducción:** Establece el propósito y la importancia de la sección.
- **Implementación del Ciclo de Deming Intraproyecto:** Detalla la aplicación del Ciclo de Deming en semanas clave donde se observaron avances significativos.
- **Análisis del Método del Camino Crítico (CPM) en Orden Cronológico:** Presenta los diagramas CPM en diferentes momentos del proyecto, mostrando cómo las rutas críticas y las decisiones cambiaron a lo largo del tiempo.
- **Comparación y Sinergia entre Ciclo de Deming y CPM:** Realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos con el uso del Ciclo de Deming y CPM, incluyendo escenarios hipotéticos.

Además, se abordará un análisis retrospectivo comparando los resultados obtenidos con las herramientas Ciclo de Deming y CPM con lo que podría haber sucedido si estas herramientas se hubiesen implementado desde el inicio del proyecto. Este enfoque permitirá explorar cómo estas herramientas podrían haber cambiado el curso del proyecto y mejorado su gestión desde el principio.

Anteriormente, la principal herramienta utilizada era un listado de actividades con responsabilidades y plazos dentro de un libro de Excel, además de una carta Gantt general de todo el proyecto para ver el panorama general. Esas eran las únicas herramientas utilizadas hasta ese entonces; las decisiones se tomaban en base a eso y a juicio de los expertos de la empresa.

El presente memorista propuso complementar la gestión del proyecto con otras herramientas. El Ciclo de Deming se escogió debido a que había varios aspectos relacionados con el control del proyecto que podían ser mejorados sistemáticamente, y que, según los expertos, no se habían

mejorado en varias semanas. Por otro lado, el CPM surge dentro del mismo enfoque de mejora continua del proyecto, la necesidad de contemplar las dependencias entre actividades, aspecto que no proporciona el diagrama de Gantt. Se pensó que esta herramienta podría ayudar a identificar flujos de tareas y definir cuáles son las más críticas en cada momento. Además, existían discusiones en las reuniones acerca de cómo se deberían asignar los recursos humanos a las tareas, debido a que no había un método claro para identificar la ruta crítica del proyecto. El contrato firmado contenía fechas límites estrictas para la finalización del proyecto, por lo que identificar las actividades que podrían retrasarlo era crucial para evitar atrasos costosos.

El contexto del proyecto es crucial para comprender la implementación y la efectividad de las herramientas de gestión Ciclo de Deming y CPM utilizadas en este estudio. Al entender la situación inicial de la planta de celulosa y los desafíos específicos que enfrentaba, se puede apreciar mejor la necesidad de un enfoque estructurado y sistemático en la gestión del proyecto. La contratación de TSG, basada en su experiencia y capacidad para ofrecer soluciones integrales de control de olores, establece un marco de referencia claro para las expectativas y los objetivos del proyecto. Además, las fases detalladas de este mismo, desde el análisis inicial hasta la activación del sistema de monitoreo, proporcionan un mapa claro de los puntos críticos donde las herramientas Ciclo de Deming y CPM pueden hacer una diferencia significativa. Este contexto no solo justifica la elección de estas metodologías, sino que también facilita la evaluación de su impacto en la mejora de la coordinación, la identificación de tareas críticas y la promoción de la mejora continua a lo largo del proyecto. Sin este entendimiento detallado del entorno y las condiciones de partida, sería difícil apreciar plenamente cómo estas herramientas contribuyen a una gestión de proyectos más eficiente y efectiva.

9.2. Análisis del Ciclo de Deming a través del Método 'QC STORY'

9.2.1. Introducción

El Ciclo de Deming, también conocido como PDCA (Plan-Do-Check-Act), es una herramienta fundamental en la gestión de la calidad que se centra en la mejora continua. En este proyecto, se ha implementado el método 'QC STORY', que integra las fases del ciclo Ciclo de Deming con un enfoque estructurado para la solución de problemas. A continuación, se presenta el análisis detallado de cada fase del Ciclo de Deming, aplicando el método QC STORY para abordar el problema central identificado en la gestión del proyecto.

9.2.2. Fase Plan

Identificación del Problema El problema identificado en este proyecto tiene relación con las ineficiencias en el sistema de control del proyecto en la planta de celulosa en Brasil. De acuerdo con una evaluación preliminar, el 73 % de los participantes directos en el proyecto han expresado su disconformidad con el sistema de control vigente. Este alto nivel de insatisfacción sugiere que existen deficiencias significativas en la manera en que se gestiona y supervisa el progreso del proyecto, lo cual podría estar afectando negativamente su eficiencia y resultados.

El problema fue seleccionado debido a que se alinea con las atribuciones del presente memorista dentro del proyecto. En este sentido, la tarea de mejorar el sistema de control recae sobre el memorista, quien cuenta con la responsabilidad de proponer e implementar mejoras que logren optimizar la gestión del proyecto y, en consecuencia, reducir el nivel de insatisfacción entre los participantes.

En cuanto a los datos históricos, se debe destacar que este proyecto representa el primer

intento de la organización en crear un grupo de trabajo que involucra a todas las gerencias. Esta circunstancia implica que, hasta el momento, no se había definido una estructura de control del proyecto suficientemente sistematizada. Si bien se han establecido roles, plazos, tareas y responsabilidades, la falta de un sistema robusto de control ha llevado a una serie de indicios en las reuniones semanales que apuntan a que el proyecto no está siendo gestionado de la manera más eficiente posible.

La dificultad para obtener datos históricos precisos radica en la naturaleza novedosa de este equipo de trabajo. No obstante, es evidente que la falta de un control adecuado se traduce en pérdidas de tiempo, que eventualmente se convierten en costos adicionales para el proyecto. Estas ineficiencias, aunque no cuantificadas de manera precisa, representan un obstáculo significativo para el éxito del proyecto.

Por lo tanto, la meta establecida para abordar este problema es reducir el porcentaje de participantes disconformes con el control del proyecto a un 20 % o menos. Esta meta debe alcanzarse a más tardar en la semana del 15 de julio de 2024. El presente memorista será el encargado de liderar las acciones necesarias para cumplir con este objetivo, incluyendo la implementación de mejoras en los procesos de control y la evaluación continua de su efectividad.

Observación El presente memorista ha sido partícipe de las reuniones de gestión del proyecto, donde se pudo observar desde dentro el problema identificado. En estas reuniones han participado diversas personas, se han desarrollado en distintos lugares, y se ha podido constatar que el problema es independiente de estos factores. Sin embargo, se observó que cada área de la empresa tiene un control adecuado de sus proyectos particulares; el problema radica en que, en este proyecto específico, se están mezclando todas las áreas, lo que complica la gestión integral.

Una vez identificado el problema, se procedió a una estratificación, identificando las principales aristas que lo componen. Esta estratificación ha revelado que el problema engloba los siguientes aspectos clave:

- **Aspectos de Tiempo:**
  - Cantidad de tiempo utilizado en las reuniones semanales del proyecto por sobre lo estipulado. El promedio de las últimas 5 reuniones es de 2 horas y 42 minutos, superando ampliamente el tiempo planeado de 2 horas.
- **Aspectos de Información:**
  - **Falta de Visibilidad y Transparencia:** La falta de sistemas y herramientas adecuados para el seguimiento genera una carencia de datos actualizados, lo que dificulta la toma de decisiones informadas.
  - No existe un método claramente establecido para evaluar el seguimiento de las actividades del proyecto. Hasta el momento, no se ha implementado un software que ordene este seguimiento de manera efectiva, solo existe una carta Gantt.
  - No hay transparencia en el manejo de la información entre los miembros del proyecto. El proceso de conseguir información de un miembro a otro es engorroso y complejo, lo que retrasa la comunicación y la toma de decisiones.
- **Aspectos de Plazos:**
  - **Desviaciones en el Cronograma:** Se han registrado ciertas desviaciones en el cronograma que podrían haber sido evitadas si se hubieran tomado medidas preventivas en el momento adecuado.

Para abordar estos problemas, se definió un cronograma de implementación del método QC STORY, que sigue la estructura temporal detallada a continuación. Este cronograma tiene como objetivo alcanzar la meta propuesta de reducir el porcentaje de participantes disconformes con el control del proyecto al 20 % o menos. El encargado de cumplir con este objetivo es el presente memorista, y la fecha límite para alcanzar implementar la solución es la semana del 10-06-2024

Cronograma de Implementación del QC STORY A continuación se presenta un cronograma general de la aplicación del método QC STORY en el proyecto, dividido en fases y subfases:

- **Fase 1: Planificación (Semanas 1-3)**
  - Identificación del problema.
  - Observación y recopilación de datos.
  - Estratificación del problema.
  - Análisis inicial y establecimiento de metas.
- **Fase 2: Implementación (Semanas 4-5)**
  - Desarrollo y ejecución del plan de acción.
  - Involucramiento del equipo y capacitación en nuevas herramientas.
  - Implementación de sistemas de seguimiento y control.
- **Fase 3: Verificación (Semana 10)**
  - Monitoreo de la efectividad de las acciones implementadas.
  - Revisión del progreso en relación con las metas establecidas.

- **Fase 4: Ajuste y Estandarización (Semanas 11-13)**

    - Realización de ajustes necesarios basados en los resultados observados.
    - Estandarización de las mejores prácticas.
    - Finalización y presentación del informe.

Este cronograma es representado gráficamente en una carta Gantt, que se incluye en el Anexo (Ver Figura 17) de esta memoria. Dicha carta Gantt desglosa las actividades planificadas por semanas, ofreciendo una visión clara del progreso esperado y las metas a alcanzar en cada etapa del proceso.

Análisis Una vez identificadas las posibles causas de la gestión ineficiente en el control del proyecto, se procedió a realizar un análisis más detallado para comprender mejor cómo estas causas contribuyen al problema central. Este proceso comenzó con una lluvia de ideas en la que participaron los principales involucrados en el proyecto, permitiendo recopilar un amplio espectro de posibles factores que podrían estar afectando negativamente el control del proyecto.

El resultado de la lluvia de ideas fue la identificación de seis categorías principales: Herramientas y Tecnologías, Comunicación, Capacitación, Procesos, Recursos Humanos, y Cultura Organizacional. Cada una de estas categorías agrupa diversas causas específicas que, en conjunto, conforman el panorama general de la gestión ineficiente.

Para estructurar visualmente estas causas y sus relaciones con el problema central, se elaboró un diagrama de Ishikawa o espina de pescado (Ver Figura 19). Este diagrama permitió sintetizar los resultados de la lluvia de ideas, facilitando la identificación de las causas fundamentales que deben ser abordadas. Las principales categorías del diagrama incluyen:

- **Herramientas y Tecnologías**: La falta de un software adecuado de gestión de proyectos y la no utilización de herramientas de seguimiento en tiempo real fueron señaladas como causas clave de la ineficiencia.

- **Comunicación**: La falta de claridad en las comunicaciones, la ineficiencia de las reuniones sin un enfoque claro y la poca transparencia en la asignación de tareas se identificaron como problemas críticos que afectan la coordinación y el seguimiento de las actividades del proyecto.

- **Capacitación**: Se observó que la falta de capacitación en herramientas de gestión de proyectos y el desconocimiento de las mejores prácticas estaban contribuyendo significativamente a la falta de sistematización en el control del proyecto.

- **Procesos**: Los procesos de seguimiento mal definidos y la ausencia de un marco metodológico claro, como PMBOK o Agile, dificultan el control efectivo del proyecto.

- **Recursos Humanos**: La sobrecarga de trabajo en algunos miembros del equipo y la falta de delegación adecuada de responsabilidades se identificaron como factores que agravan la gestión ineficiente.

- **Cultura Organizacional**: La resistencia al cambio en la implementación de nuevas herramientas y la preferencia por métodos tradicionales no sistematizados fueron reconocidas como barreras significativas para la mejora del control del proyecto.

El diagrama de Ishikawa resultante de este análisis proporcionó una visión clara de cómo las distintas causas se interrelacionan y afectan el problema central. A partir de este análisis, se estableció una base sólida para la siguiente fase del Ciclo de Deming, en la cual se desarrollará un plan de acción específico para abordar las causas ident ificadas y mejorar el sistema de control del proyecto.

En base a los factores identificados en el diagrama de Ishikawa, se procedió a realizar un

análisis de Pareto con el objetivo de priorizar las causas más influyentes en la gestión ineficiente del control del proyecto. Para ello, se diseñó una encuesta dirigida a todos los participantes directos del proyecto, en la cual se les pidió que marcaran, de mayor a menor, las tres causas que consideraban más determinantes en la mala gestión del control del proyecto.

A cada participante se le otorgaron 3 puntos para la causa que consideraba más importante, 2 puntos para la segunda y 1 punto para la tercera. El resto de las causas recibieron 0 puntos. Posteriormente, se sumaron los puntajes asignados a cada causa y se representaron en un análisis de Pareto (Ver Figura 20). Este análisis permitió identificar que 3 de las 14 causas resumidas en el diagrama de Ishikawa, es decir, el 21 % de las causas (Ver Figura 19.) tienen un 83 % del puntaje total acumulado, lo cual es un claro ejemplo del lema del diagrama de Pareto: 'El 20 % de las causas representan el 80 % de los efectos'. En consecuencia, se determinó que la mitigación de estas causas es la forma más efectiva de mejorar significativamente la gestión del control del proyecto. Este análisis resulta crucial para la siguiente fase del proceso, el 'Plan de Acción'.

Este texto complementa el análisis y proporciona una base sólida para continuar con el desarrollo del QC STORY.

Plan de Acción Para la creación del plan de acción se ha utilizado la herramienta 5W1H (Qué, Quién, Cuándo, Dónde, Por qué y Cómo), un enfoque que permite organizar y estructurar los diferentes elementos de manera clara y concisa. Este método asegura que todas las facetas críticas del plan de acción estén cubiertas, garantizando una implementación efectiva.

El principal objetivo del plan de acción es resolver el problema identificado en la etapa inicial del método QC Story. En términos cuantitativos, el problema se traduce en que el 73 % de los participantes del proyecto manifiestan su disconformidad con el sistema actual de control del

proyecto. La meta concreta es reducir este porcentaje al 20 % o menos, implementando cambios que mejoren la gestión y el seguimiento de las actividades.

Para abordar el problema de la falta de herramientas de seguimiento en tiempo real, se evaluaron varias alternativas. Entre ellas, se consideraron opciones de software de control de proyectos como Microsoft Project y Trello, pero fueron descartadas por su alto costo de licencia, que excede el presupuesto del proyecto. En lugar de ello, se optó por un enfoque más tradicional. Se ha planificado una reestructuración de la arquitectura de información del proyecto, utilizando una nube SharePoint que centralizará toda la información disponible. Esta plataforma permitirá que todos los participantes tengan acceso al seguimiento del proyecto, las minutas y cualquier información adicional de manera organizada y accesible. Además, se desarrollará un libro de Excel que será actualizado periódicamente por el Project Controller y estará disponible en la nube, facilitando un seguimiento en tiempo real.

En cuanto a la eficiencia de las reuniones, se ha observado que la falta de estructura lógica en el orden de los temas tratados afecta la duración y productividad de las mismas. Para resolver esto, se planificó una reestructuración en la organización de las reuniones, agrupando los temas en categorías que sigan un flujo lógico, evitando saltos entre temas no relacionados. Esta nueva estructura tiene como objetivo mejorar la eficiencia y acortar la duración de las reuniones, respetando los tiempos estipulados.

Respecto a la preferencia por métodos tradicionales, se ha decidido implementar nuevas herramientas de gestión que complementen el uso actual de la carta Gantt. En este contexto, se utilizará el Método del Camino Crítico (CPM), una de las herramientas clave dentro de esta memoria. Esta metodología permite identificar y priorizar las tareas más críticas del proyecto, mejorando la visibilidad y el control sobre las actividades que impactan directamente en los plazos finales (ver

más en la sección Sección 9.3).

El memorista será el responsable de llevar a cabo todas las acciones descritas, mientras que los demás participantes del proyecto tendrán la responsabilidad de proporcionar la información necesaria para implementar las soluciones planificadas. Los recursos requeridos para este plan incluyen la configuración y acceso a la plataforma SharePoint, así como la creación del libro de Excel para el seguimiento del proyecto. Asimismo, será necesario dedicar tiempo a capacitar a los participantes en el uso de estas herramientas para asegurar una correcta implementación.

El cronograma de implementación del plan está establecido para completarse antes del viernes 14 de junio. El desarrollo de cada una de las fases del plan de acción está programado para realizarse en periodos de una semana, asegurando que cada acción reciba el tiempo y la atención necesarios para su correcta ejecución. El cronograma completo puede consultarse en Figura 17.

Para evaluar el éxito del plan, se utilizarán como indicadores clave el tiempo promedio de las reuniones semanales y la satisfacción de los miembros del proyecto con respecto al sistema de control. Estos indicadores se medirán mediante encuestas y seguimiento regular de los resultados obtenidos, lo que permitirá realizar ajustes si fuera necesario.

En cuanto a los riesgos asociados, uno de los principales es la resistencia al cambio por parte de los miembros del equipo, ya que la transición hacia herramientas más tecnológicas y estructuradas puede generar incertidumbre. Para mitigar este riesgo, se llevará a cabo un programa de capacitación y soporte técnico que asegure la adopción adecuada de las nuevas herramientas. Otro riesgo potencial es la falta de acceso o problemas técnicos en la plataforma SharePoint. Para prevenir este tipo de inconvenientes, se planificará una fase de prueba antes de la implementación completa, así como la disponibilidad de un equipo de soporte técnico.

El plan de acción será comunicado a todos los participantes durante una de las reuniones

semanales, donde se explicarán los plazos, responsabilidades y expectativas para cada miembro del equipo. Esta reunión servirá para garantizar que todos los involucrados comprendan el alcance del plan y sus funciones dentro de este.

El seguimiento del progreso será documentado semanalmente en la plataforma SharePoint, donde se registrarán todos los avances. Cualquier ajuste necesario será discutido y consensuado en las reuniones semanales, para asegurar la transparencia y eficacia del proceso.

Por último, se han creado visualizaciones para facilitar la comprensión del plan de acción. Un Diagrama de Casos de Uso ejemplifica cómo funcionará la plataforma SharePoint, mostrando los diferentes roles y accesos que tendrán los miembros del equipo. Este diagrama puede ser consultado en Figura 21, también se incluye una tabla resumen con los principales cambios a elaborar incluidos en el plan de acción (Ver Tabla 1).

9.2.3. Fase Do

Acción La implementación de las acciones planificadas comenzó el 03-06-2024, siguiendo el cronograma establecido. A continuación, se describen los pasos realizados y los resultados iniciales obtenidos.

El primer paso fue la creación del sitio web en la nube (SharePoint), destinado a centralizar toda la información del proyecto en un solo lugar, facilitando el acceso para todos los miembros del proyecto. Esta herramienta fue clave para la organización del proyecto, proporcionando visibilidad en tiempo real del avance de las actividades.

Posteriormente, se implementaron los siguientes cambios:

- **Creación de sitio web en la nube:** Se creó un sitio web para centralizar la información del

proyecto en un solo sitio, en donde todos los miembros del proyecto pueden tener acceso a la información de manera mucho más sencilla. Dentro de este sitio, se diseñó una estructura de carpetas para organizar información como: Minutas semanales, Excel con seguimiento del proyecto, información técnica del proyecto y presentaciones semanales. Mediante un correo se hizo la oficialización del sitio web, en donde se informó el modo de trabajar dentro del mismo sitio (Ver Figura 26).

- **Diseño del diagrama CPM:** Se creó una estructura visual de las interdependencias entre las actividades del proyecto, permitiendo una mejor gestión de las rutas críticas. Todo el detalle de cómo se implementó dentro del proyecto se puede revisar en la sección 9.3.

- **Documentación del progreso semanal:** Se inició un registro semanal de los avances del proyecto, consolidando la información recogida en cada reunión.

- **Creación del libro de Excel con el seguimiento en tiempo real:** Este libro de Excel permite actualizar el estado de las actividades en tiempo real, garantizando transparencia y accesibilidad para todos los involucrados. La diferencia con respecto a lo que había anteriormente es que además de incluir las actividades, responsables y fechas críticas, ahora contiene una clasificación de las tareas además de datos clave asociados al estado de las mismas,(Terminado, En proceso o Backlog) (Ver Figura 25), también, se agrega los últimos comentarios asociados a cada una de ellas y la fecha de en la que se realizó este comentario. Este Excel, fue implementado en las reuniones de avance, en donde con ayuda de la clasificación de las tareas y el estado de las mismas, se podía guiar el rumbo de la reunión de manera lógica e organizada. Para implementar este método de seguimiento fue necesario idear un sistema de recolección de información semanal, con el fin de poder ir actualizando el estado de las

actividades periódicamente. Esta información era recolectada y cargada en el Excel cada viernes, para posteriormente ser utilizada en las reuniones de avances de los días lunes. Una vez implementado este sistema de seguimiento, surgieron algunas oportunidades de mejora propuestas por los mismos miembros del proyecto, como por ejemplo el uso de un 'Semáforo del proyecto' el cual, mediante el uso de fórmulas de Excel, fue programado para marcar en verde cuando ninguna actividad este retrasada y en rojo cuando hay alguna en la que exista un retraso. De esta forma, era más visual identificar cuando algo se estaba escapando del cronograma para poder tomar acciones a tiempo. Otra de las sugerencias que fue implementada posteriormente, es la de la implementación de otra clase de actividades, llamadas 'Actividades críticas de la semana, estas actividades surgen por algo que no se contempló en las actividades del proyecto desde un principio, y por lo general tienen una duración menor. De esta manera se va estructurando la lógica y el seguimiento del proyecto.

- **Reestructuración de las reuniones semanales y minutas:** Se reorganizó el sistema de búsqueda y la estructura de las minutas (Ver Figura 23 y Figura 24), además, los temas discutidos en las reuniones para mejorar su eficiencia, priorizando los aspectos más críticos y agrupando los temas de manera lógica. La suma de todos los cambios realizados, permite hacer una reestructuración del formato de las reuniones semanales y de las minutas. Anteriormente las reuniones seguían la siguiente estructura: Minuta anterior, Carta Gantt y Avance en actividades (sin orden lógico establecido). Después de la implementación de los cambios se fue modificando esta estructura de la siguiente manera: Minuta anterior, Carta Gantt, Diagrama CPM, Actividades organizadas lógicamente junto con su estado y tareas críticas de la semana anterior junto con su estado también.

El principal encargado de la ejecución de estas acciones fue el presente memorista, quien diseñó y concretó cada uno de estos cambios. Los demás miembros del proyecto, con su conocimiento y experiencia, colaboraron aportando la información necesaria para el éxito de la implementación de estas herramientas, también hacían recomendaciones de mejoras posibles dentro del control del proyecto.

La implementación de los cambios generó ciertos obstáculos o desafíos. Uno de los principales retos fue la **recolección semanal de información** para actualizar el libro de Excel, ya que los viernes, en su rol de Project Controller, el memorista debía recolectar el estado de las actividades de cada miembro del proyecto. La disponibilidad limitada de algunos miembros dificultó el proceso, lo que hizo necesario una mejor coordinación del tiempo para estas reuniones de actualización.

Otro desafío fue el **diseño del libro de Excel**, especialmente por la complejidad de las fórmulas y funcionalidades necesarias para automatizar el seguimiento del proyecto. Sin embargo, se lograron sortear estos obstáculos y cumplir con los plazos establecidos.

Los cambios fueron bien recibidos por los participantes del proyecto. El enfoque gradual en la implementación de las nuevas herramientas permitió una **adaptación más fluida** por parte de los miembros. Esto resultó en una mejor organización y eficiencia en las reuniones semanales, donde se observó un mayor orden y claridad en la forma de abordar los temas críticos del proyecto.

El **feedback** sobre las herramientas y cambios implementados se obtuvo principalmente a través de las reuniones semanales y la comunicación directa entre el memorista y los miembros del proyecto. A medida que se discutían los avances del proyecto, surgieron nuevas oportunidades de mejora, las cuales se incorporaron en los ajustes de las herramientas.

Los participantes también reportaron un **mayor control y visibilidad** sobre el estado del proyecto, facilitando la toma de decisiones y la planificación de las tareas pendientes.

Tras la implementación de las herramientas, el siguiente paso será **perfeccionar y ajustar** las funcionalidades de cada una, según el feedback recibido. La meta final es estandarizar el uso de estas herramientas para mejorar la eficiencia del control de futuros proyectos dentro de la organización.

9.2.4. Fase Check

Verificación La verificación de la meta de reducir el porcentaje de disconformidad del sistema de control del proyecto a un 20 % se realizó mediante una encuesta aplicada una vez que todas las acciones del plan fueron implementadas y se habían asentado. Los resultados indicaron que solo el 9,1 % de los miembros del proyecto seguían disconformes con el sistema de gestión, lo que evidencia un claro cumplimiento del objetivo, superando incluso las expectativas iniciales. Además, el 100 % de los participantes afirmó que el control del proyecto mejoró significativamente con la implementación de los cambios propuestos.

Un aspecto clave en la verificación de los resultados fue el análisis del tiempo medio de las reuniones semanales, que pasó de 2 horas y 42 minutos a 2 horas y 10 minutos, tras 5 reuniones desde la implementación de las mejoras. Aunque no se alcanzó completamente el objetivo de reducir el tiempo promedio a 120 minutos, se observó una disminución de 32 minutos, lo cual es un avance positivo hacia una mayor eficiencia en las reuniones. Este progreso se puede visualizar en la gráfica de duración de reuniones Figura 28.

La encuesta utilizada para verificar la satisfacción incluyó las siguientes preguntas:

- ¿Estás conforme con el sistema de control del proyecto?

- ¿Crees que el control del proyecto ha mejorado con los cambios implementados (Sistema Sharepoint, Seguimiento en tiempo real, Formato de presentaciones, Diagrama CPM)?

- Marquen, de mayor a menor, las tres causas que consideren más relevantes para poder mejorar el sistema de control del proyecto.

Este análisis permitió identificar si las principales causas de la mala gestión fueron mitigadas de forma efectiva.

Una reflexión importante es que, si bien no se logró reducir el tiempo de las reuniones a 120 minutos, la tendencia es positiva y la reducción alcanzada hasta ahora ha sido significativa. En el gráfico Figura 28, se observa claramente esta tendencia a la baja en la duración de las reuniones. A partir de estos resultados, se extraen varias lecciones clave:

- **Trazabilidad**: Mantener la trazabilidad formal de las solicitudes de información mediante correos electrónicos es esencial para traspasar responsabilidades y mejorar el flujo de trabajo.
- **Adopción Temprana de Herramientas**: Implementar un sistema de control desde el inicio del proyecto es crucial para tener claridad desde el primer minuto.
- **Generación de Datos**: La creación de datos cuantitativos facilita un análisis más sólido y permite la toma de decisiones basadas en hechos.

Las visualizaciones generadas para esta fase de verificación incluyen tres gráficos principales:

- Comparación del Sistema de Control del Proyecto Antes y Después de Implementar los Cambios Figura 22

- Diagrama de Pareto después de implementar los cambios Figura 27

- Gráfica Temporal de Duración de Reuniones Semanales Figura 28

Estas visualizaciones permiten observar el impacto de las mejoras implementadas y proporcionan una base para la fase final de estandarización en el Ciclo de Deming.

9.2.5. Fase Act

Estandarización Tras la implementación exitosa de los cambios en el sistema de control del proyecto, se decidió estandarizar los siguientes métodos y herramientas para garantizar una gestión eficiente y consistente en proyectos futuros:

- **Centralización de la Información en SharePoint**: Toda la información del proyecto será almacenada y gestionada en la nube de SharePoint, lo que asegura que los miembros del equipo tengan acceso en tiempo real a los documentos y recursos necesarios.
- **Excel de Seguimiento del Proyecto**: Se ha creado una plantilla del libro de Excel utilizado para el control del proyecto, en donde se mantienen funcionalidades y se agrega una hoja con todas las indicaciones sobre cómo manejar este libro de Excel. Este libro ha sido codificado y subido a la nube principal de la organización para posibles futuros usos.
- **Gráficas de Diagrama CPM**: El uso del diagrama CPM como herramienta de visualización y análisis de la ruta crítica se ha estandarizado. Un documento oficial en Lucidchart ha sido creado, el cual contiene todas las gráficas base necesarias para generar y actualizar estos diagramas durante la vida de futuros proyectos.
- **Clasificaciones de tareas**: Se han estandarizado 7 clasificaciones de actividades que podrían seguir siendo válidas independiente del proyecto con el cual se esté trabajando.

En cuanto a la **documentación**, se ha generado la oficialización del libro de Excel de seguimiento, incluyendo una guía de uso en su interior. Además, se ha documentado el uso del sistema de SharePoint como el repositorio central para toda la información del proyecto. Estas oficializaciones están respaldadas por un documento oficial con código, que ha sido subido al sistema

interno de la empresa y comunicado por correo electrónico desde el departamento de calidad de la empresa.

El **responsable futuro** de mantener y mejorar este sistema será el Project Controller asignado a cualquier proyecto multinacional. Será su deber velar por la mejora continua del sistema de control, asegurando que se mantenga actualizado y adecuado para cada proyecto.

En cuanto a la **capacitación**, se ha planificado que, al inicio de futuros proyectos, se impartirá una capacitación para familiarizar a los nuevos miembros del equipo con las herramientas y métodos estandarizados. Esta capacitación asegurará que el manejo del sistema sea independiente de quien controle el proyecto.

Por último, se tiene **pronosticado continuar utilizando y mejorando** el sistema de control desarrollado para este proyecto. El objetivo es no reinventar los métodos ya efectivos, sino ajustarlos y perfeccionarlos para futuros proyectos, aprovechando lo aprendido y los resultados obtenidos en este proyecto.

Conclusión Las conclusiones están dentro de Sección 10

9.3. Análisis del Método del Camino Crítico (CPM) en Orden Cronológico

9.3.1. CPM Inicial

Identificación de Actividades

El diagrama CPM inicial (Ver Figura 12) se basa en el momento del inicio del proyecto. Es importante destacar que este diagrama se desarrolla retrospectivamente, mucho después de que el proyecto comenzara, y por lo tanto, no se utiliza para la toma de decisiones en la realidad. Sin

embargo, se emplea para realizar un análisis retrospectivo, evaluando cómo podría haber influido en la gestión del proyecto si se hubiera utilizado desde el principio.

Durante la fase de identificación de actividades, se realizan entrevistas cara a cara con los gerentes encargados del proyecto. Estas entrevistas incluyen preguntas clave como:

- ¿Cuáles son las actividades principales necesarias para llevar a cabo el proyecto?
- ¿Cuál es la duración estimada de cada actividad?
- ¿Qué dependencias existen entre las diferentes actividades?

Estas preguntas son esenciales para construir un esbozo inicial del diagrama CPM, permitiendo a los gerentes visualizar de manera más clara el proyecto y proporcionando un punto de referencia para recibir retroalimentación constante.

El proceso de recolección de información dura aproximadamente una semana, culminando con la validación y aprobación de los gerentes encargados. Como resultado, se identifican 24 actividades clave, dispuestas en secuencias lógicas que reflejan el flujo de trabajo necesario para completar el proyecto. A continuación, se describen estas actividades y su importancia dentro del proyecto. En caso de necesitar ver un resumen de las actividades, consultar Tabla 2.

Descripciones de Actividades

IN: Es una actividad inventada para el diagrama CPM, que representa el hito de inicio del proyecto. No implica una acción concreta, sino que marca el comienzo formal del cronograma y la planificación del proyecto.

Duración: 0 semanas.

Relaciones: No tiene predecesoras.

KO: Esta actividad abarca la definición de roles, la estructura base del proyecto, el diseño del sistema de control de proyectos y la creación de un cronograma base. Es fundamental para establecer un marco organizativo claro y asegurar que todos los participantes entiendan sus responsabilidades desde el principio.

Duración: 1 semana.

Relaciones: Predecesora: **IN (SF)**.

A: La contratación de tres técnicos especializados en la operación y mantenimiento de equipos de abatimiento de gases en Brasil. Estos técnicos son esenciales para la instalación y el mantenimiento continuo del sistema, ya que aportan las competencias necesarias para asegurar un funcionamiento eficaz y seguro de los equipos.

Duración: 3 semanas.

Relaciones: Predecesora: **KO (SF)**.

B: Obtención de certificaciones, cursos y contratos laborales para los técnicos. Este proceso es crucial para garantizar que los técnicos cumplan con todos los requisitos legales y de seguridad para trabajar en la planta de celulosa, lo cual es un requisito indispensable para poder realizar las instalaciones y mantenimientos.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **A (SF)**.

C: Capacitación de los técnicos en el manejo y reparación de los equipos de abatimiento de gases. Dada la complejidad técnica de estos equipos, es vital que el personal esté bien entrenado

para evitar errores que puedan comprometer el funcionamiento del sistema y la seguridad en la planta.

Duración: 4 semanas.

Relaciones: Predecesora: **B (SS+1)**.

D: Consiste en la revisión detallada de los términos y condiciones del contrato entre TSG y la planta de celulosa. Es crucial para asegurarse de que todas las cláusulas sean claras y aceptables para ambas partes, previniendo malentendidos y asegurando el cumplimiento de los compromisos acordados.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **KO (SF)**.

E: Implica la negociación de términos específicos del contrato, como alcances del trabajo, fechas de entrega, penalidades por retrasos, y otros aspectos legales y financieros. Esta actividad es importante para asegurar que el contrato sea justo y beneficioso para ambas partes, y para establecer expectativas claras desde el principio.

Duración: 1 semana.

Relaciones: Predecesora: **D (SF)**.

F: Formaliza el acuerdo alcanzado en las negociaciones. La firma del contrato es un paso legal indispensable que sella el compromiso de ambas partes con los términos acordados, permitiendo que el proyecto avance a la siguiente fase de implementación.

Duración: 1 semana.

Relaciones: Predecesora: **E (SF)**.

G: Identificación de todas las fuentes de emisión de olores en la planta de celulosa. Esta actividad es esencial para comprender el alcance total del problema de los olores y asegurar que todas las fuentes sean consideradas para el plan de mitigación, garantizando una solución integral.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **F (SF)**.

H: Adquisición de todas las piezas necesarias para la fabricación de los equipos de abatimiento de gases, a través de cotización y compra de proveedores. Es un paso crucial para evitar retrasos en la producción de equipos, lo que podría afectar el cronograma general del proyecto.

Duración: 3 semanas.

Relaciones: Predecesora: **G (SF)**.

I: Fabricación y control de calidad de los equipos de mitigación de gases. Esta actividad asegura que los equipos cumplan con los estándares de calidad necesarios para un funcionamiento efectivo y seguro, minimizando riesgos de fallas en el sitio de instalación.

Duración: 3 semanas.

Relaciones: Predecesora: **H (SF)**.

J: Transporte de los equipos fabricados a Brasil, considerando la logística y posibles desafíos aduaneros. Esta actividad es crítica para garantizar que los equipos lleguen a tiempo y en buenas condiciones, permitiendo que el proyecto avance según lo planificado.

Duración: 1 semana.

Relaciones: Predecesora: **IN (SF)**.

K: Creación de modelos 3D de las fuentes emisoras de olores, utilizados en la elaboración de CFD. Estos modelos son fundamentales para realizar simulaciones precisas y planificar la mitigación de olores de manera efectiva.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **G (SF)**.

L: Elaboración de simulaciones de Dinámica Computacional de Fluidos (CFD) para cada fuente de olor. Esta actividad proporciona una base técnica sólida para las propuestas de mitigación, permitiendo la visualización y análisis de cómo se dispersan los olores en diferentes condiciones.

Duración: 3 semanas.

Relaciones: Predecesora: **K (SS+1)**.

M: Desarrollo y presentación de una propuesta técnica al cliente, con opciones de mitigación basadas en presupuesto y efectividad. Esta actividad define el plan de acción específico y asegura la aprobación del cliente para proceder con la instalación.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **L (SS+1)**.

N: Determinación de los materiales necesarios para el montaje del sistema de mitigación de olores, a través de cotizaciones y decisiones sobre proveedores. Es crucial para garantizar que todos los elementos necesarios estén disponibles y sean de la calidad adecuada.

Duración: 1 semana.

Relaciones: Predecesora: **M (SS+1)**.

O: Proceso de compra y recepción de materiales en Brasil, asegurando que todo lo necesario para la instalación esté disponible a tiempo. Esta actividad es vital para evitar retrasos en la instalación de los equipos.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **N (SF)**.

P: Importación de materias primas necesarias para la producción del líquido neutralizante, que será utilizado en el sistema de abatimiento de gases. Es una actividad clave para asegurar que se disponga del líquido neutralizante en la cantidad y calidad necesarias.

Duración: 3 semanas.

Relaciones: Predecesora: **KO (SF)**.

Q: Desarrollo de la fórmula específica del líquido neutralizante, incluyendo pruebas de calidad. Es esencial para garantizar que el líquido sea efectivo en la neutralización de olores y cumpla con las regulaciones locales.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **P (SF)**.

R: Producción del líquido neutralizante en las cantidades requeridas para el proyecto. Esta actividad asegura que haya suficiente producto disponible para el inicio y operación continua del sistema de mitigación.

Duración: 3 semanas.

Relaciones: Predecesora: **Q (SF)**.

S: Transporte del líquido neutralizante desde el lugar de producción hasta la planta de celulosa en Brasil. Asegura que el producto esté disponible en el sitio para su uso inmediato, evitando retrasos en el arranque del sistema.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **R (SF)**.

T: Instalación completa de los equipos de abatimiento de gases en la planta, integrando todas las líneas de trabajo (técnicos, equipos, líquidos neutralizantes). Esta actividad es crucial para la operatividad del sistema y su capacidad de reducir los olores.

Duración: 6 semanas.

Relaciones: Predecesoras: **C (SF)**, **J (SF)**, **O (SF)**, **S (SF)**.

U: Puesta en marcha del sistema de abatimiento de gases, incluyendo ajustes finales y pruebas de funcionamiento. Esta fase es crítica para verificar que el sistema opere según las especificaciones y cumpla con los objetivos de mitigación de olores.

Duración: 2 semanas.

Relaciones: Predecesora: **T (SF)**.

FI: Es una actividad inventada para el diagrama CPM, que marca el hito de finalización del proyecto. Refleja el término de todas las actividades planificadas y el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Duración: 0 semanas.

Relaciones: Predecesora: **U (SF)**.

Presentación del Diagrama CPM Inicial

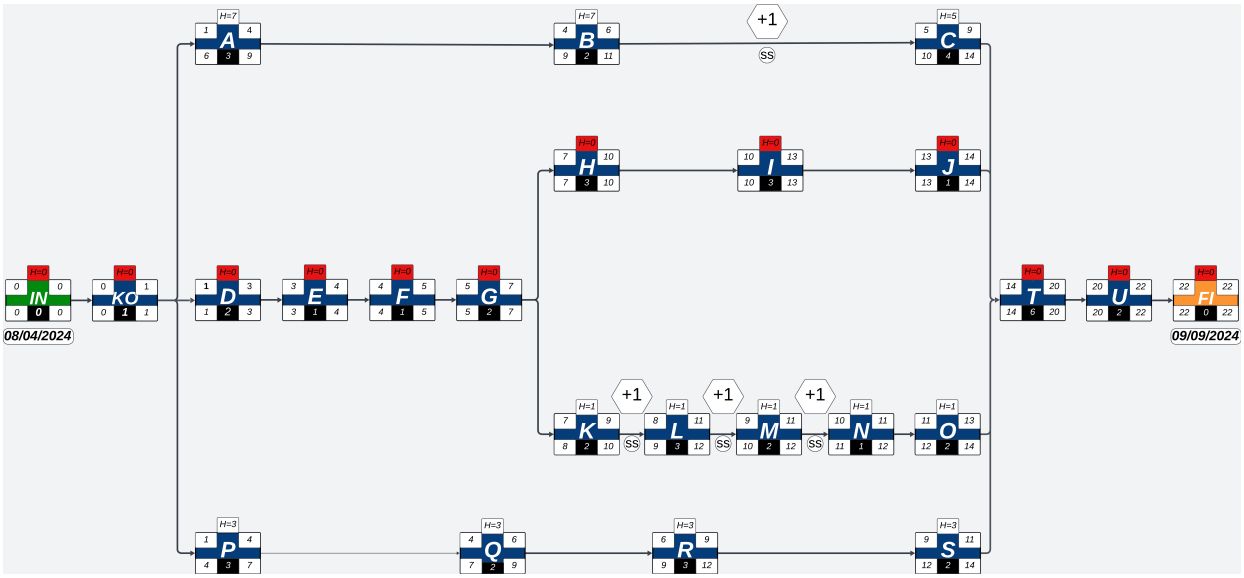


Figura 12: Diagrama CPM Inicial (Fuente: *Elaboración propia*)

El diagrama CPM inicial se construye a partir de la identificación de las actividades clave del proyecto, sus duraciones y las dependencias entre ellas. Para una comprensión detallada de cómo leer el diagrama y la simbología utilizada, consulte la sección 7.2.3.

Este diagrama refleja la planificación original del proyecto en su fase inicial, destacando la secuencia y la relación entre las actividades. Es importante mencionar que este diagrama se desarrolla retrospectivamente, lo cual implica que se basa en datos y decisiones recogidos en un punto anterior del proyecto, sin haber influido en la toma de decisiones en tiempo real.

Identificación de Rutas

Dentro del diagrama inicial se generan cuatro rutas distinguibles, las cuales se describen a continuación:

- **Ruta Administrativa (RA)**: Esta ruta se encuentra en la parte superior del diagrama. Está

compuesta por las actividades IN, KO, A, B, C, T, U, FI. En general, contiene actividades asociadas a aspectos administrativos del proyecto.

- **Ruta de Fabricación (RF)**: Esta ruta se encuentra en la parte media-superior del diagrama. Está compuesta por las actividades IN, KO, D, E, F, G, H, I, J, T, U, FI. En general, se compone de actividades relacionadas con la fabricación de los equipos de abatimiento de gases odorantes.

- **Ruta Técnica (RT)**: Esta ruta se encuentra en la parte media-inferior del diagrama. Está compuesta por las actividades IN, KO, D, E, F, G, K, L, M, N, O, T, U, FI. En general, aquí se pueden encontrar actividades relacionadas con el sustento técnico del proyecto.

- **Ruta de Producción de Líquidos (RP)**: Esta ruta se encuentra en la parte inferior del diagrama. Está compuesta por las actividades IN, KO, P, Q, R, S, T, U, FI. En general, incluye actividades relacionadas con la producción de líquidos neutralizantes.

Análisis del Diagrama CPM Inicial

Identificación de la Ruta Crítica

La ruta crítica identificada en el diagrama CPM inicial está compuesta por las actividades: IN, KO, E, F, G, H, I, J, T, U, FI. Estas actividades son las más largas y no tienen holgura, lo que significa que cualquier retraso en ellas retrasaría todo el proyecto. En particular, la actividad T (Instalación del sistema de abatimiento de gases) es un punto crucial del proyecto, ya que todas las demás rutas convergen en ella. La identificación de la ruta crítica es esencial para enfocar la atención y los recursos en estas actividades clave, garantizando que el proyecto se complete a

tiempo y dentro del presupuesto.

Identificación de Holguras

Las rutas que no forman parte de la ruta crítica, como las rutas administrativas y de producción de líquido neutralizante, tienen holgura. Estas actividades incluyen A, B, C, P, Q, R, y S, con holguras que varían desde una a siete semanas. Aunque estas actividades tienen holgura, es importante monitorear su progreso para evitar que se conviertan en críticas. La holgura en estas rutas permite cierta flexibilidad en la planificación de recursos y puede utilizarse para ajustar y redistribuir tareas según sea necesario.

Consideraciones de Recursos y Plazos

El diagrama CPM inicial proporciona una visión clara de cómo se deben asignar los recursos para evitar cuellos de botella y retrasos. Por ejemplo, conociendo la ruta crítica, se pudieron haber asignado más recursos a concretar actividades que pertenecen a ella, como por ejemplo la actividad KO. Además, el diagrama muestra que las actividades con mayor holgura, como A y B, podrían haberse programado de manera más flexible, permitiendo la reasignación de recursos a áreas más críticas si fuera necesario.

Reflexión Retrospectiva

La creación de un diagrama CPM desde el inicio del proyecto podría haber mejorado significativamente la toma de decisiones y la gestión del proyecto. La planificación inicial se basó en una estructuración general del proyecto, que, aunque útil, no proporcionó la misma claridad y detalle que un CPM. El CPM permite una identificación precisa de las actividades críticas, facili-

tando la asignación adecuada de recursos humanos y monetarios. Además, destaca la importancia de ciertas reuniones y la necesidad de abordar temas contractuales de manera oportuna.

Con un CPM, se podría haber anticipado la holgura en las rutas administrativas y de producción, permitiendo una mayor flexibilidad y una planificación más eficiente. Las reuniones de planificación podrían haberse centrado en mantener el enfoque en las actividades críticas, asegurando que los plazos se cumplieran y que los recursos se utilizaran de manera óptima.

Implementación del CPM en las Reuniones Semanales

Uso del Diagrama en la Planificación y Control

Aunque el diagrama CPM se crea retrospectivamente, su integración en las reuniones semanales podría haber sido una herramienta valiosa para monitorear el progreso del proyecto. Se habría utilizado para revisar regularmente el estado de las actividades críticas y ajustar las planificaciones según fuera necesario. La inclusión del CPM en estas reuniones habría proporcionado una base sólida para la toma de decisiones, facilitando la priorización de tareas y la identificación temprana de problemas potenciales.

Evaluación de Impacto en la Gestión del Proyecto

El uso de un CPM en tiempo real podría haber transformado significativamente la gestión del proyecto. Habría permitido una visión clara de las dependencias entre actividades y una comprensión más profunda de cómo las demoras en una actividad podrían afectar otras partes del proyecto. Esta herramienta habría sido especialmente útil para gestionar los recursos de manera más efectiva, al proporcionar una comprensión clara de cuándo y dónde se necesitarían.

Valoración de la Herramienta

El diagrama CPM, incluso creado retrospectivamente, ofrece un valor considerable para obtener una visión clara y estructurada del proyecto. Permite una identificación precisa de las actividades críticas, facilitando la priorización y la gestión efectiva de recursos y tiempos. La comparación con los métodos de planificación utilizados en la realidad, como el diagrama de Gantt y el Excel, subraya la importancia de utilizar herramientas que capturen no solo las actividades sino también sus dependencias y secuencias.

Lecciones Aprendidas

Si el diagrama CPM hubiera estado disponible y actualizado desde el inicio del proyecto, habría permitido una planificación más efectiva y una mejor gestión de los recursos. Habría facilitado una comprensión más clara de las rutas críticas y las holguras, permitiendo ajustes proactivos y decisiones informadas. Además, habría servido como una herramienta de comunicación clave, asegurando que todos los miembros del equipo comprendieran las prioridades del proyecto y se alinearan en sus esfuerzos.

9.3.2. CPM 1

Descripción del CPM N°1

El diagrama CPM N°1 se desarrolló en respuesta a una emergencia ocurrida durante el proyecto, a partir del CPM inicial. Estos cambios incluyen ajustes en la duración de una de las actividades administrativas del diagrama CPM.

Cambios con respecto al Diagrama Anterior

En comparación con el CPM inicial, el CPM N°1 presenta una diferencia clave (para la visualización del diagrama completo, consulte Figura 29):

Cambio 1: La actividad A experimenta un cambio significativo en su duración, pasando de 3 a 8 semanas. Este cambio se debe a una catástrofe natural que afectó directamente a la ciudad donde se encuentra la planta de celulosa. Las intensas lluvias allí provocaron importantes inundaciones en gran parte de la ciudad, lo que retrasó la actividad de contratación de personal (A) en Brasil por 6 semanas.

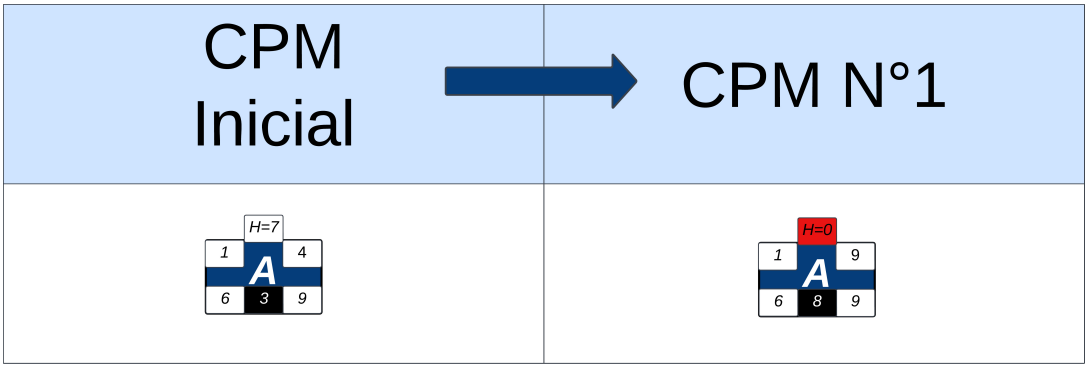


Figura 13: Resumen de Cambio en Actividades entre CPM Inicial y CPM N°1 (Fuente: *Elaboración propia*)

Estos cambios se implementaron para ajustar el diagrama a las condiciones prevalecientes en ese momento.

Análisis del CPM N°1

Impacto en la Ruta Crítica

Contemplando el cambio descrito anteriormente, se observa una particularidad en la ruta crítica, y es que ahora se identifican dos rutas críticas, debido a que ninguna de estas rutas presenta

holgura. Además de la ruta crítica original, que era IN, KO, E, F, G, H, I, J, T, U, FI, se añade ahora la ruta IN, KO, A, B, C, T, U, FI.

Esta nueva ruta crítica corresponde a la ruta administrativa, que incluye la actividad afectada por el retraso (A).

En la implementación del método CPM, lo ideal es que exista una única ruta crítica. La presencia de múltiples rutas críticas puede aumentar la complejidad de la gestión del proyecto, ya que implica monitorear y controlar varias secuencias de actividades críticas de manera simultánea.

Impacto en la Duración del Proyecto

El retraso de la actividad A no afecta la fecha de finalización del proyecto, pero crea criticidad en otras actividades subsecuentes, como las actividades B y C.

Es importante señalar que si la actividad A hubiera experimentado un retraso de 7 o más semanas, la finalización del proyecto en su totalidad se habría visto afectada.

Reasignación de Recursos y Plazos (Retrospectivo)

Este CPM se elabora después del evento de las inundaciones, por lo que se presenta un análisis retrospectivo.

Cabe destacar que este CPM se desarrolló con la información de que la actividad en cuestión se retrasó efectivamente 6 semanas. La dificultad reside en que, una vez iniciada la catástrofe natural en Brasil, se debe estimar el impacto real sobre la actividad A. Aquí es crucial realizar un análisis exhaustivo y prestar especial atención a las fuentes oficiales para estimar con precisión el retraso de la actividad A y, de esta manera, incorporarlo oportunamente al CPM. Aunque no se cuente con esta información de inmediato, el CPM permite responder a la pregunta: ¿Cuánto puede

retrasarse la actividad 'X' sin afectar la fecha de finalización del proyecto?

En cuanto a la reasignación de recursos, en este caso, las opciones eran limitadas debido a la naturaleza de la catástrofe, que escapaba al control de la empresa. Los recursos podrían haber seguido destinándose a evitar retrasos adicionales en la ruta crítica IN, KO, E, F, G, H, I, J, T, U, FI. Otra posible alternativa habría sido inyectar recursos adicionales para adelantar alguna de las actividades de la ruta crítica, con el fin de generar holgura y reducir la carga en las demás rutas.

9.3.3. CPM 2

Descripción del Diagrama

Este diagrama se genera principalmente debido a un problema que surge durante la elaboración de los CFD (Ver Actividad L en Sección 9.3.1). Para realizar los CFD, se requiere un computador con especificaciones técnicas muy superiores a la media, por lo que la empresa solo cuenta con un equipo que cumple con estos requisitos. Dicho computador presenta una falla técnica en uno de sus ventiladores, lo que desencadena una serie de errores que lo dejan inutilizable para la ejecución de los CFD. Debido a esto, la actividad sufre un considerable retraso, que incluye el tiempo de búsqueda de repuestos, importación y reparación del equipo. Todo esto impacta la línea de trabajo media-inferior, correspondiente a la Ruta Técnica (Ver Sección 9.3.1).

Adicionalmente, se experimenta un retraso en la Ruta de Fabricación, en la cual se extravía un envío desde China, lo que genera cambios en la actividad H.

Cambios con respecto al Diagrama Anterior

En este diagrama, se observan cambios tanto en las actividades como en las relaciones, los cuales se describen a continuación:

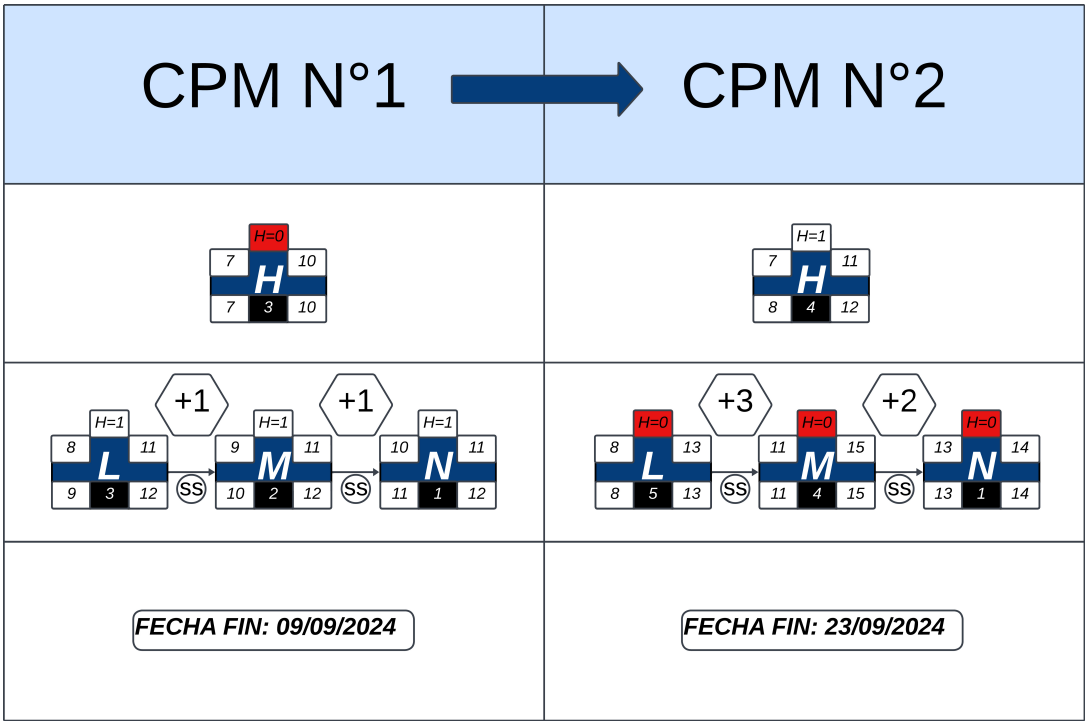


Figura 14: Resumen de Cambios entre el CPM N°1 y CPM N°2 (Fuente: *Elaboración propia*)

En primer lugar, la actividad L pasa de 3 a 5 semanas, debido a las razones explicadas anteriormente. Este retraso, a su vez, impacta la actividad siguiente, de modo que la actividad M no puede seguir su curso normal hasta que se completan los CFD. Las estimaciones indican que la relación entre L y M cambiará de una SS+1 a una SS+3. Además, se prevé que la duración de la actividad M también se retrasa, pasando de 2 a 4 semanas. Por último, se estima que la relación entre las actividades M y N cambia de SS+1 a SS+2. Finalmente, en la Ruta de Fabricación, la actividad H experimenta un retraso, pasando de 3 a 4 semanas de duración.

Análisis del Diagrama CPM N°2

Identificación de Ruta Crítica

La ruta crítica, según lo pronosticado por el CPM, cambia a: IN, KO, D, E, F, G, K, L, M, N, O, T, U, FI. Esta ruta corresponde a la Ruta Técnica (Ver Sección 9.3.1).

Impacto en la Duración del Proyecto

Esta serie de retrasos sugiere que, si todo progresa según lo pronosticado, la fecha final del proyecto se retrasa en dos semanas, cambiando del 09/09/2024 al 23/09/2024.

Identificación de Holguras

Este análisis parte de la premisa de que el retraso en la fecha final del proyecto es admisible y que el proyecto continúa tal como está planeado. En ese caso, las holguras son las siguientes:

- **Ruta administrativa**: Holgura = 2 semanas
- **Ruta de Fabricación**: Holgura = 1 semana
- **Ruta Técnica**: Holgura = 0 semanas
- **Ruta de Producción de Líquidos**: Holgura = 5 semanas

Impacto del CPM en la Toma de Decisiones

El uso del diagrama CPM en la gestión del proyecto resulta fundamental para guiar las decisiones críticas que afectan el éxito del proyecto. A continuación, se detalla cómo el CPM influye directamente en la toma de decisiones durante las reuniones semanales:

Identificación de Prioridades y Áreas Críticas El CPM permite identificar las actividades que forman parte de la ruta crítica, es decir, aquellas que no pueden retrasarse sin afectar la fecha de finalización del proyecto. En este caso, la Ruta Técnica se identifica como crítica, lo que pone de manifiesto que cualquier retraso en esta ruta impacta directamente en la fecha final del proyecto. Esta información resulta crucial, ya que dirige la atención de los gerentes hacia las actividades que requieren una supervisión y asignación de recursos más estricta.

Evaluación de Alternativas de Acción En la etapa de planificación del proyecto, y tras identificar los posibles retrasos en la ejecución de la Ruta Crítica, se considera esencial llevar a cabo una evaluación de las posibles alternativas de acción. Este proceso resulta fundamental para garantizar que las decisiones tomadas estén alineadas con los objetivos generales del proyecto y se tomen con la mayor cantidad de información posible.

Para la selección de la mejor alternativa, se utiliza una matriz de decisión ponderada, una herramienta que permite comparar diversas opciones con base en criterios específicos. En este caso, las alternativas consideradas son:

- **Opción A: Acelerar la Ruta Crítica**: Esta opción se enfoca en intensificar el esfuerzo en las actividades de la Ruta Crítica, con el objetivo de minimizar el impacto de los retrasos ya identificados. Aunque esta alternativa podría acortar la duración total del proyecto, implica un aumento significativo en los costos y riesgos debido a la necesidad de recursos adicionales y potenciales interrupciones en otras partes del proyecto.

- **Opción B: Redistribución en la Ruta Administrativa (RA)**: La segunda alternativa consiste en redistribuir los recursos y reordenar las tareas en la Ruta Administrativa, con la

intención de liberar recursos que pudieran ser redirigidos hacia actividades más críticas. Esta opción presenta un riesgo moderado y un impacto en los costos asociado principalmente a la reestructuración de equipos y recursos.

- **Opción C: Mantener el Plan Actual**: Finalmente, la tercera opción considera continuar con el plan originalmente establecido, aceptando los retrasos previstos pero sin incurrir en costos adicionales significativos. Esta opción se selecciona como la más viable, dado que los retrasos previstos pueden ser gestionados dentro de los márgenes contractuales, y las otras alternativas no ofrecen un beneficio claro en relación con los costos y riesgos.

Cada una de estas alternativas se evalúa según tres factores clave: Impacto en la Duración del Proyecto (IDP), Costo Asociado ($$) y Riesgo de Retrasos (RR), con sus respectivos pesos ponderados. Los resultados de esta evaluación, detallados en la matriz de decisión ponderada (ver Tabla 7), indican que la **Opción C: Mantener Plan Actual** es la más adecuada. Esta decisión se basa en la combinación favorable de menor costo y menor riesgo, a pesar del impacto moderado en la duración del proyecto.

Este análisis resulta clave para asegurar que las decisiones estratégicas estén basadas en una comprensión profunda de las implicancias de cada opción, lo que a su vez respalda una toma de decisiones informada y alineada con los objetivos del proyecto.

Optimización de la Asignación de Recursos Una vez seleccionada la alternativa de acción a través de la matriz de decisión ponderada, la siguiente fase en la gestión del proyecto es la optimización de la asignación de recursos. En este contexto, el diagrama CPM juega un papel clave al proporcionar una visión clara de las actividades críticas y las holguras disponibles en el

cronograma del proyecto.

El diagrama CPM permite identificar con precisión las actividades en la Ruta Crítica y las rutas con holgura significativa, lo que facilita la asignación eficiente de recursos. Por ejemplo, dado que la Ruta Crítica no admite retrasos adicionales sin impactar la fecha de finalización del proyecto, se decide mantener el enfoque en completar estas actividades según lo planificado, mientras que las actividades en rutas con mayor holgura, como la Ruta Administrativa y la Ruta de Producción de Líquidos, se ajustan para liberar recursos adicionales si fuera necesario.

Durante las reuniones semanales del equipo de proyecto, el diagrama CPM actualizado se utiliza como una herramienta central para revisar el progreso de las actividades y hacer ajustes en tiempo real. Este enfoque permite a los gerentes del proyecto tomar decisiones informadas sobre la reasignación de recursos, priorizando aquellas actividades que presentan el mayor riesgo de retrasos.

Además, el uso del diagrama CPM facilita la identificación de posibles cuellos de botella antes de que se conviertan en problemas críticos, permitiendo una planificación proactiva y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario. Por ejemplo, la identificación temprana de un posible retraso en la entrega de materiales críticos permite negociar con los proveedores para acelerar los envíos, evitando así un impacto mayor en la Ruta Crítica. mayor en la Ruta Crítica.

9.3.4. CPM 3

Descripción del Diagrama

Este tercer diagrama CPM se genera debido a un problema puntual relacionado con la acreditación de los técnicos chilenos que deben realizar las instalaciones en la planta de celulosa

en Brasil. Para que estos técnicos puedan ingresar a la planta, es necesario un contrato especial brasileño, lo cual no estaba contemplado en el cronograma inicial del proyecto. Este imprevisto lleva a pronosticar nuevos retrasos en la acreditación del personal, impactando principalmente a la Ruta Administrativa.

La demora en la acreditación resulta crítica porque, sin esta, los técnicos no pueden realizar una parte importante de la capacitación requerida, lo que a su vez retrasa otras actividades dependientes. Esta situación subraya la importancia de considerar aspectos contractuales y legales en la planificación inicial del proyecto, especialmente en contextos internacionales donde las normativas locales pueden afectar significativamente los plazos. Para visualizar el diagrama CPM completo revisar Figura 31.

Cambios con respecto al Diagrama Anterior

Uno de los cambios más destacados en este CPM 3 es el retraso causado por los problemas contractuales mencionados anteriormente, que afectan considerablemente la actividad B, 'Acreditación del personal'. La duración de esta actividad se incrementa de 2 a 5 semanas debido a la complejidad del proceso de obtención de los contratos necesarios para los técnicos en Brasil.

Este retraso en la actividad B tiene un efecto dominó en la actividad C, 'Capacitación del personal', ya que parte de la capacitación se realiza dentro de la planta de celulosa, lo que no puede llevarse a cabo sin que los técnicos estén plenamente acreditados. Como resultado, la relación entre las actividades B y C cambia de una SS+1 a una SS+3, reflejando el mayor tiempo necesario para completar la acreditación antes de que pueda comenzar la capacitación.

Estos cambios no solo afectan la secuencia de actividades, sino que también plantean nuevos desafíos para mantener el proyecto dentro de los plazos previstos, destacando la necesidad de

una reevaluación constante y ajustada a las condiciones cambiantes del proyecto.

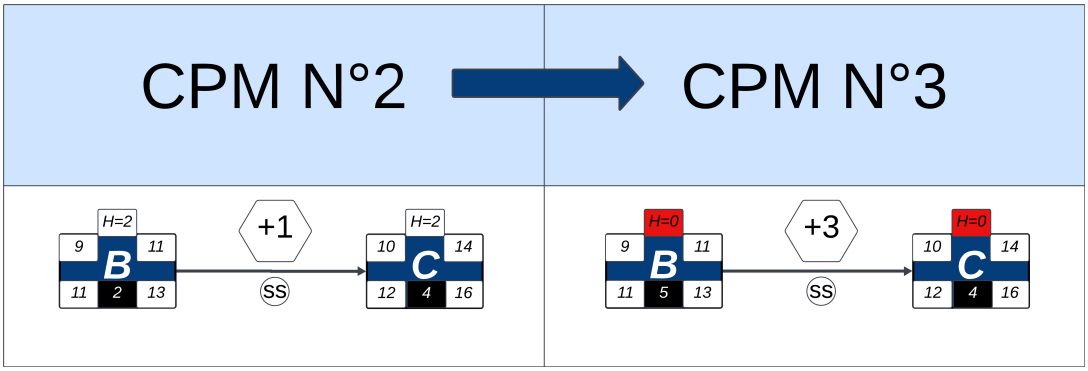


Figura 15: Resumen de Cambios entre el CPM N°2 y CPM N°3 (Fuente: *Elaboración propia*)

La imagen 15 resume visualmente los cambios realizados entre el CPM N°2 y el CPM N°3, proporcionando una visión clara de cómo estos problemas contractuales han afectado el cronograma general del proyecto.

Análisis del Diagrama CPM N°3

Identificación de Ruta Crítica

En este CPM actualizado, existen dos rutas críticas. La primera es la misma ruta que en el CPM N°2, e incluye las actividades IN, KO, D, E, F, G, K, L, M, N, O, T, U, FI, esta es la Ruta Técnica (Ver Sección 9.3.1). Por otro lado, la otra ruta crítica es la Ruta Administrativa, la cual contiene las actividades IN, KO, A, B, C, T, U, FI. Este cambio es significativo porque introduce una segunda ruta crítica, lo que implica que ambas rutas ahora tienen la capacidad de determinar la duración total del proyecto.

La aparición de una segunda ruta crítica es un aspecto crítico en la gestión del proyecto porque significa que ahora hay dos secuencias de actividades que no pueden permitirse ningún retraso sin impactar la fecha de finalización del proyecto. Este cambio exige una gestión aún más

cuidadosa de los recursos y la atención a ambos conjuntos de actividades para asegurar que ninguna de las dos rutas sufra demoras que puedan extender el plazo del proyecto.

El hecho de que la Ruta Administrativa haya pasado a ser crítica también destaca la importancia de las tareas administrativas y contractuales en el éxito del proyecto. Anteriormente, estas actividades tenían holgura, lo que permitía cierta flexibilidad en su gestión. Sin embargo, ahora que forman parte de la ruta crítica, cualquier retraso en la obtención de contratos, acreditación o capacitación del personal puede tener un impacto directo en la fecha de entrega final del proyecto.

Impacto en la Duración del Proyecto

El impacto de los cambios realizados en este CPM N°3 indica que, en este momento, no se pronostica un retraso inmediato en la fecha de finalización del proyecto. Sin embargo, la existencia de dos rutas críticas, la Ruta Técnica y la Ruta Administrativa, aumenta significativamente el riesgo de que el proyecto pueda sufrir retrasos en el futuro. La fecha de finalización del proyecto se mantiene actualmente en el 23/09/2024, pero con un mayor riesgo de desviaciones debido a la necesidad de gestionar cuidadosamente ambas rutas críticas.

Este ajuste refleja la importancia de mantener un control riguroso sobre ambas rutas para evitar que se produzcan demoras. Con dos rutas críticas, cualquier retraso en cualquiera de ellas podría tener un impacto directo en la fecha de finalización del proyecto. Esto implica que el equipo de gestión del proyecto debe monitorear de cerca el progreso de las actividades en ambas rutas y estar preparado para tomar medidas correctivas inmediatas si se identifica algún riesgo de retraso.

Identificación de Holguras

Al igual que en los CPM anteriores, se debe analizar la holgura de cada ruta teniendo en cuenta que el proyecto se ajustará según lo planeado con los nuevos tiempos. Las holguras estimadas son las siguientes:

- **Ruta Administrativa**: Holgura = 0 semanas
- **Ruta de Fabricación**: Holgura = 1 semana
- **Ruta Técnica**: Holgura = 0 semanas
- **Ruta de Producción de Líquidos**: Holgura = 5 semanas

Impacto del CPM en la Toma de Decisiones

El diagrama CPM N°3 resulta fundamental para guiar las decisiones en las reuniones semanales (Ver 33, asegurando que las áreas críticas reciban la atención y recursos necesarios para evitar mayores retrasos. A continuación, se detalla cómo el CPM influye en la toma de decisiones:

Identificación de Prioridades y Áreas Críticas El CPM permite identificar que las actividades B, L, y M, que forman parte de las rutas críticas, son cruciales para el éxito del proyecto. Actualmente, estas actividades están en ejecución, y es fundamental que continúen sin interrupciones para evitar cualquier impacto negativo en la fecha final del proyecto. La clara identificación de estas prioridades resulta clave para que los gerentes enfoquen sus esfuerzos y recursos en las áreas que más lo necesitan, garantizando que se mantenga el enfoque en las actividades críticas, minimizando así el riesgo de retrasos adicionales.

Evaluación de Alternativas de Acción En esta fase del proyecto, se realiza una evaluación de las posibles alternativas de acción con el objetivo de mitigar los riesgos asociados a las rutas críticas identificadas en el diagrama CPM actualizado. Nuevamente, la herramienta utilizada para esta evaluación es una matriz de decisión ponderada, que considera tres factores clave: Impacto en la Duración del Proyecto (IDP), Costo Asociado ($$), y Riesgo de Retrasos (RR). La matriz permite una comparación clara y objetiva entre las opciones disponibles, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones. La matriz de decisión completa se puede consultar en la Tabla 8.

Las alternativas consideradas son las siguientes:

- **Opción A: Mantener el Plan** - Esta alternativa consiste en continuar con el plan de acción establecido originalmente, sin realizar ajustes significativos en los recursos o en la estrategia. Aunque esta opción implica un menor costo adicional, también conlleva un alto riesgo de que los retrasos acumulados en las rutas críticas impacten negativamente en la fecha de finalización del proyecto. Esta opción se considera la más conservadora, pero también la más arriesgada debido a la alta probabilidad de incurrir en retrasos adicionales que afectarían el cronograma.

- **Opción B: Inyectar Recursos en las dos Rutas Críticas** - Esta opción propone la asignación de recursos adicionales tanto a la Ruta Técnica como a la Ruta Administrativa, con el objetivo de acelerar las actividades críticas y mitigar los riesgos de retraso. Sin embargo, esta alternativa presenta varios desafíos, incluyendo un aumento significativo en los costos asociados y la complejidad logística de gestionar recursos adicionales en dos frentes simultáneamente. Aunque podría reducir el tiempo de ejecución del proyecto, el balance de costos y riesgos no resulta favorable en comparación con otras opciones.

- **Opción C: Inyectar Recursos en la Actividad T** - La tercera opción se enfoca en la asignación de recursos adicionales específicamente a la Actividad T, que es crucial para la finalización exitosa del proyecto. Al priorizar esta actividad, se busca mitigar los riesgos asociados con las rutas críticas al mismo tiempo que se mantiene un control sobre los costos. La matriz de decisión ponderada muestra que esta opción ofrece el mejor balance entre impacto en la duración del proyecto, costo y riesgo, haciendo de esta la opción más viable y estratégicamente sólida.

El análisis detallado de la matriz de decisión ponderada revela que la **Opción C: Inyectar Recursos en la Actividad T** es la más adecuada, con una puntuación total superior a las otras alternativas. Esta decisión se respalda en la capacidad de esta opción de manejar de manera efectiva los riesgos de retrasos, al tiempo que mantiene los costos dentro de los límites aceptables.

El diagrama CPM juega un papel fundamental en la identificación de estas alternativas, ya que permite visualizar con claridad las interrelaciones y dependencias entre las actividades del proyecto. La información proporcionada por el CPM resulta clave para destacar las áreas de mayor vulnerabilidad y para identificar dónde la asignación de recursos adicionales tendría el mayor impacto. Sin el análisis proporcionado por el CPM, la selección de la opción más adecuada habría sido mucho más incierta y menos alineada con los objetivos estratégicos del proyecto.

Optimización de la Asignación de Recursos Con la implementación del CPM N°3, se identifica una necesidad crítica de optimizar los recursos disponibles para asegurar el avance continuo del proyecto dentro de los plazos establecidos. El diagrama CPM revela la existencia de dos rutas críticas que requieren especial atención: la Ruta Técnica y la Ruta Administrativa. Para abordar esta situación, se llevan a cabo varias estrategias de optimización de recursos que se detallan a

continuación.

Una de las principales decisiones estratégicas es reasignar recursos humanos provenientes de la Ruta de Producción, la cual presenta una mayor holgura en su cronograma. Estos recursos se destinan a apoyar actividades clave dentro de la Ruta Técnica, como la elaboración de la propuesta técnica (actividad M). Esta reasignación permite que la Ruta Técnica mantenga su flujo normal, minimizando el riesgo de retrasos adicionales en esta ruta crítica.

Además, los directores del proyecto aprovechan la flexibilidad en la Ruta Administrativa para redistribuir mejor las horas de trabajo del equipo administrativo. Esto se traduce en una mayor dedicación a las actividades críticas que requieren atención inmediata, asegurando que estas tareas avancen según lo planeado y mitigando el riesgo de retrasos.

Otro aspecto clave de la optimización de recursos es la utilización de personal adicional para acelerar la actividad de capacitación del personal (actividad C), la cual también forma parte de la Ruta Administrativa. Al hacerlo, se logra reducir el riesgo de que esta actividad se convierta en un cuello de botella para el resto del proyecto.

La implementación del CPM N°3 facilita la identificación de estas oportunidades de optimización, permitiendo a los gerentes del proyecto tomar decisiones informadas sobre la redistribución de recursos. Esta planificación resulta fundamental para mantener el proyecto en curso, asegurando que las actividades críticas reciban el apoyo necesario para cumplir con los objetivos del proyecto. Además, el uso del CPM permite anticipar posibles cuellos de botella y tomar medidas correctivas antes de que afecten significativamente el cronograma general.

9.3.5. CPM 3.1

Tras la decisión de adelantar la actividad T, se realiza un ajuste en el diagrama CPM, dando lugar a la versión CPM 3.1. Este ajuste permite garantizar que el proyecto avance de manera más eficiente, abordando las preocupaciones identificadas en la evaluación de alternativas y priorizando la Ruta Técnica.

Descripción del Diagrama

El CPM 3.1 refleja los cambios implementados tras la decisión de adelantar la actividad T, lo cual permite mitigar riesgos en la Ruta Técnica y asegurar que las actividades críticas continúen según lo planificado. Esta versión del CPM muestra cómo la actividad T ha sido priorizada y los efectos que este cambio ha tenido en las actividades dependientes. En particular, la actividad T, que corresponde a la 'Instalación de Equipos en Terreno', se adelanta para evitar posibles retrasos en la Ruta Técnica y la Ruta Administrativa.

Cambios con respecto al Diagrama Anterior

En el CPM 3.1, se destaca principalmente el adelantamiento de la actividad T, que anteriormente formaba parte de las actividades programadas para un momento posterior. Este cambio tiene un impacto significativo en la Ruta Técnica y la Administrativa (Ver Sección 9.3.1), asegurando que se mantenga el flujo normal del proyecto y reduciendo el riesgo de retrasos.

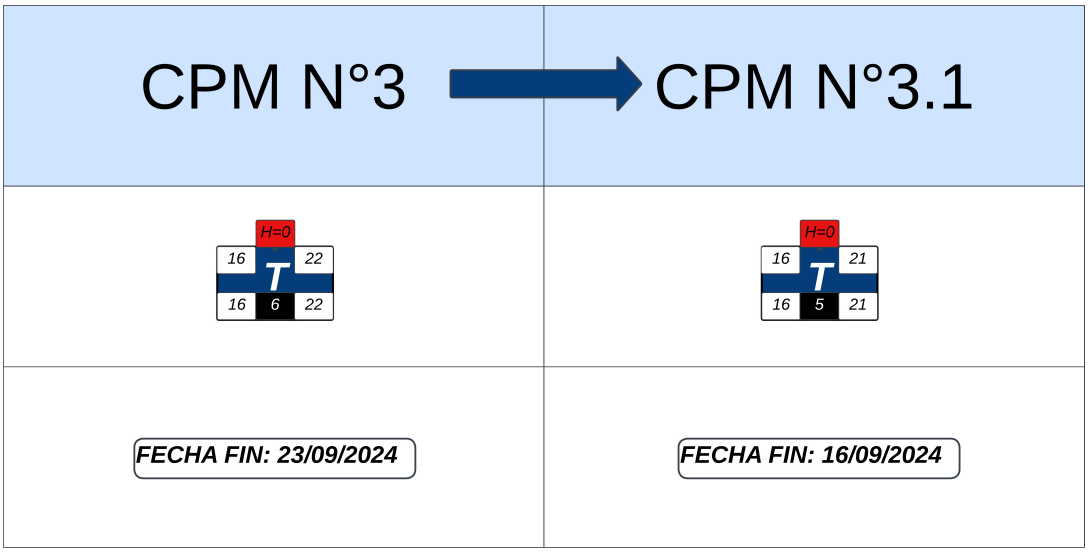


Figura 16: Resumen de Cambios entre el CPM N°3 y CPM N°3.1 (Fuente: *Elaboración propia*)

La Figura 16 resume los cambios de este diagrama con respecto al anterior.

Análisis del CPM 3.1

Identificación de Ruta Crítica

La ruta crítica en el CPM 3.1 sigue siendo la Ruta Técnica y la Administrativa, pero con el adelantamiento de la actividad T, se logra una mayor estabilidad en la planificación del proyecto. Este cambio asegura que las actividades críticas, como la instalación de equipos en terreno, puedan tener un pequeño margen de atraso, minimizando el riesgo de impacto en la fecha final del proyecto.

Impacto en la Duración del Proyecto

El ajuste realizado en el CPM 3.1 contribuye a adelantar la fecha de finalización del proyecto en una semana, pronosticándose ahora para el 16/09/2024. Esto permite disminuir el riesgo

de retraso del proyecto, asegurando un mayor margen de tiempo para manejar cualquier imprevisto que pueda surgir en las fases finales.

Reflexión y Lecciones Aprendidas

La actualización al CPM 3.1 demuestra la importancia de la flexibilidad en la gestión de proyectos, permitiendo ajustes en tiempo real para mitigar riesgos y asegurar el éxito del proyecto. El proceso de revisión y ajuste del diagrama CPM resulta fundamental para garantizar que el equipo del proyecto pueda tomar decisiones informadas y proactivas. Para más detalles sobre el diagrama actualizado, consultar el anexo Figura 32.

9.4. Comparación y Sinergia entre Ciclo de Deming y CPM

El Ciclo de Deming y el Critical Path Method (CPM) son herramientas de gestión de proyectos que, aunque tienen enfoques distintos, pueden complementarse de manera eficaz. El Ciclo de Deming se centra en la mejora continua a través de las fases de Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (Plan, Do, Check, Act), mientras que el CPM proporciona una estructura sólida para identificar tareas críticas y gestionar las dependencias dentro de un proyecto. Sin embargo, es al aplicar el Ciclo de Deming al propio CPM donde surge una sinergia poderosa que optimiza la gestión del proyecto.

La sinergia se produce cuando el Ciclo de Deming se utiliza para revisar y mejorar progresivamente el diagrama CPM, ajustando su visualización y efectividad en función de las necesidades del proyecto. En lugar de tratar ambos métodos de manera aislada, el Ciclo de Deming permite un enfoque iterativo que perfecciona el uso del CPM a lo largo del tiempo. El CPM establece una planificación rigurosa de las actividades, y el Ciclo de Deming se encarga de mejorar continua-

mente cómo se representan y gestionan estas actividades, asegurando que el proyecto se mantenga dinámico y adaptable a nuevas condiciones.

En esta memoria, se aplicó el Ciclo de Deming a un nivel macro, optimizando el sistema de control del proyecto en su conjunto, pero también a nivel micro dentro de la propia herramienta CPM. A medida que avanzaba el proyecto, el Ciclo de Deming se implementó para perfeccionar el diagrama CPM en varias iteraciones, lo que resultó en una mayor claridad visual y funcionalidad en la herramienta.

Primera Iteración del CPM: Se elaboró un diagrama CPM básico que cumplía con los requisitos iniciales del proyecto, identificando la ruta crítica y las dependencias (ver Figura 29). Sin embargo, pronto se observó que podía mejorarse su visualización para facilitar la comprensión y su uso en reuniones.

Segunda Iteración del CPM: Aplicando la fase de Çheck"del Ciclo de Deming, se añadió un código de colores para destacar visualmente las actividades de inicio, fin y la ruta crítica (ver Figura 30). Este ajuste mejoró la rapidez con que el equipo identificaba las actividades críticas, haciendo las reuniones más productivas.

Tercera Iteración del CPM: En una revisión posterior, se cambiaron las líneas de dependencia a un formato más claro y se ajustó el tamaño del diagrama para que fuera más fácil de manejar y presentar en las reuniones de seguimiento (ver Figura 31). Estos cambios facilitaron el análisis de las relaciones entre las tareas y permitieron un mejor enfoque en los puntos clave durante las reuniones.

Cuarta Iteración del CPM: Finalmente, se introdujo un color adicional (amarillo) en el código de colores para señalar las actividades en ejecución durante las reuniones (ver Figura 32). Esto ayudó a que el equipo se concentrara en las tareas más relevantes en ese momento, mejorando

la coordinación y la toma de decisiones en tiempo real.

Al aplicar el Ciclo de Deming al CPM, se logró no solo una mejora en la visualización y control del proyecto, sino también una optimización continua en la gestión de tareas críticas y dependencias. El proceso de mejora continua asegura que la herramienta CPM no solo sea útil en su planificación inicial, sino que se ajuste y evolucione con el proyecto, garantizando una gestión eficiente y adaptable ante nuevos retos y oportunidades.

10. Conclusiones

El desarrollo e implementación de un sistema de gestión de proyectos para la planta de celulosa multinacional ha demostrado ser una estrategia efectiva para abordar los desafíos de control de olores y mejorar la convivencia con las comunidades aledañas. A través del uso combinado de las herramientas de gestión de proyectos, como el *Critical Path Method* (CPM) y el Ciclo de Deming, se lograron mejoras significativas tanto en la coordinación de actividades como en la eficiencia del proyecto.

Una de las conclusiones más relevantes es que el uso del Ciclo de Deming permitió un enfoque iterativo de mejora continua, aplicado tanto a nivel global en la gestión del proyecto como de forma más específica en la optimización del diagrama CPM. La capacidad de ajustar y optimizar continuamente las actividades críticas y los flujos de trabajo fue un factor clave en el éxito del proyecto, permitiendo que la planta ajustara sus procesos y mejorara las operaciones de forma eficiente.

Asimismo, el *Critical Path Method* se destacó como una herramienta esencial para identificar y gestionar las actividades críticas dentro del proyecto. La capacidad del CPM para destacar aquellas tareas que no podían sufrir retrasos sin afectar el cronograma general del proyecto permitió una asignación más efectiva de los recursos y garantizó la realización de múltiples esfuerzos para el cumplimiento de los plazos establecidos.

En términos del control de proyectos, el enfoque utilizado, basado en herramientas de gestión como el Ciclo de Deming y el Critical Path Method (CPM), ha demostrado ser idóneo para gestionar proyectos de control de olores en un contexto multinacional. Estas herramientas permiten una mejora continua y optimización de procesos, lo que garantiza un mayor control y seguimiento

de las actividades, contribuyendo a una gestión eficiente en la mitigación de emisiones odorantes. La integración de estas herramientas de control ofrece una base sólida para afrontar los desafíos operativos en plantas industriales, promoviendo una gestión más efectiva y proactiva de los recursos y actividades.

El proyecto también subraya la importancia de una gestión de proyectos adaptable y flexible, especialmente en contextos multinacionales donde es esencial coordinar equipos en diferentes países y manejar complejidades adicionales. La experiencia obtenida con la planta de celulosa ha sentado un precedente para futuras implementaciones, demostrando que es posible gestionar de manera eficiente proyectos a gran escala utilizando herramientas de mejora continua y optimización de tareas.

Finalmente, se concluye que la sinergia entre las herramientas utilizadas permitió no solo una gestión más efectiva del proyecto, sino también la identificación de áreas adicionales para mejoras futuras. El éxito del proyecto abre nuevas oportunidades para la empresa en términos de replicar este modelo de gestión en otros proyectos multinacionales, asegurando tanto la eficiencia operativa como el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

11. Anexos

11.1. ANEXO A: Herramientas utilizadas en el método 'QC STORY

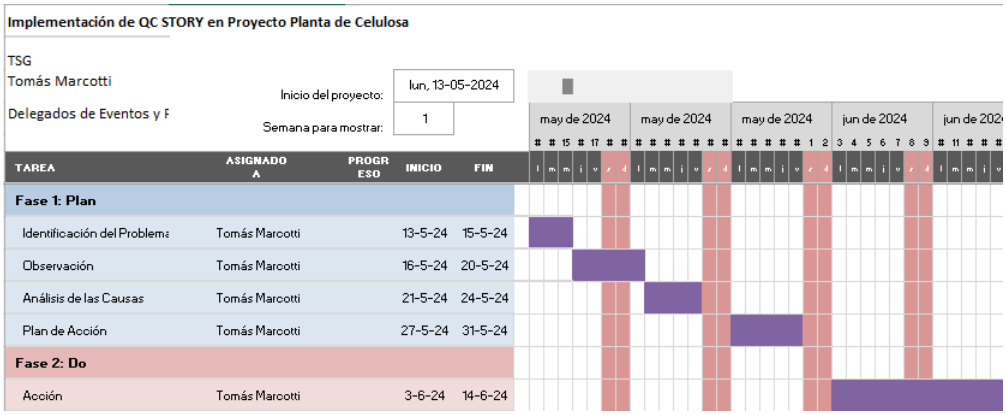


Figura 17: Carta Gantt de implementación del método 'QC STORY' 1/2 (Fuente: *Elaboración propia*)

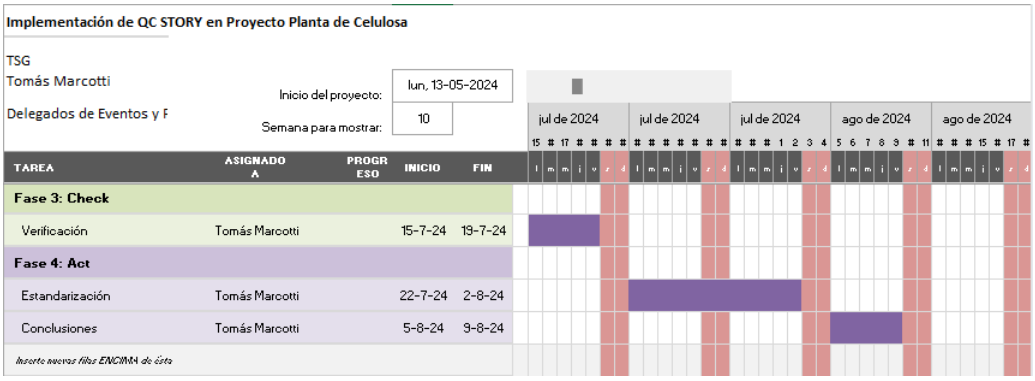


Figura 18: Carta Gantt de implementación del método 'QC STORY' 2/2 (Fuente: *Elaboración propia*)

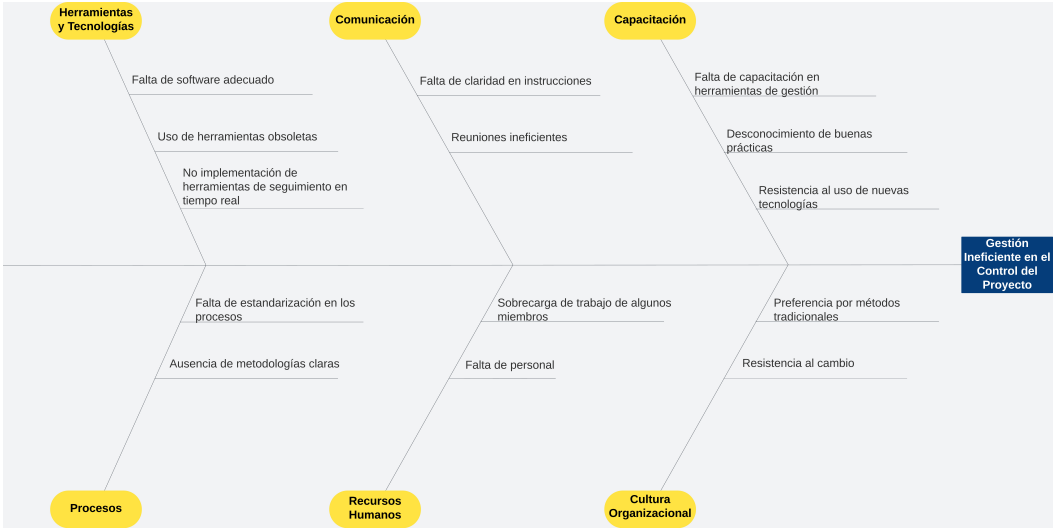


Figura 19: Diagrama de Ishikawa en el análisis de causas (Fuente: *Elaboración propia*)

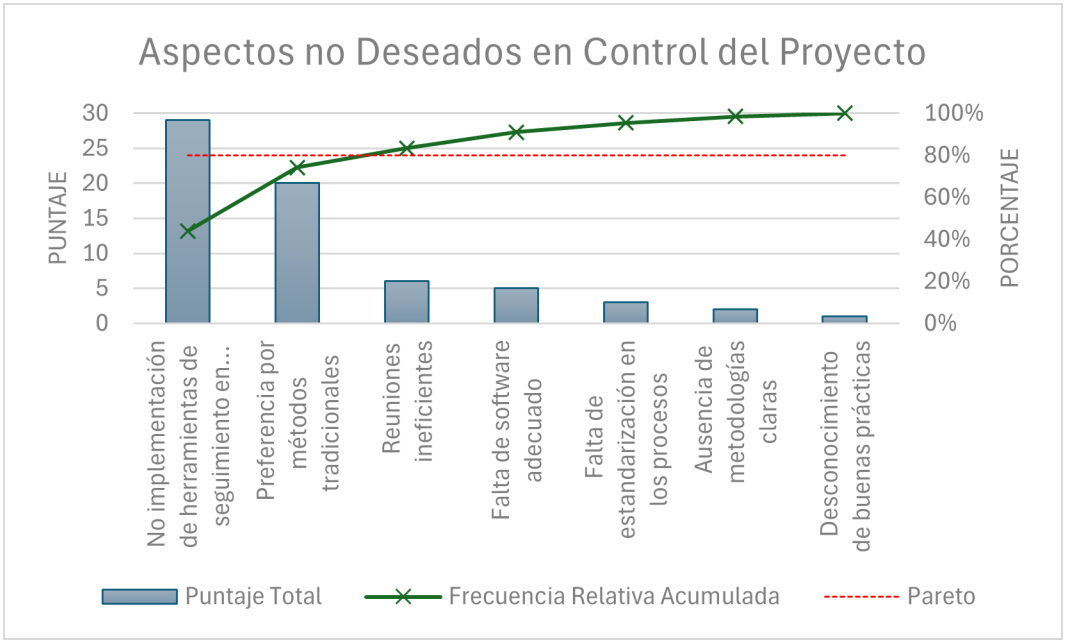


Figura 20: Diagrama de Ishikawa en el análisis de causas (Fuente: *Elaboración propia*)

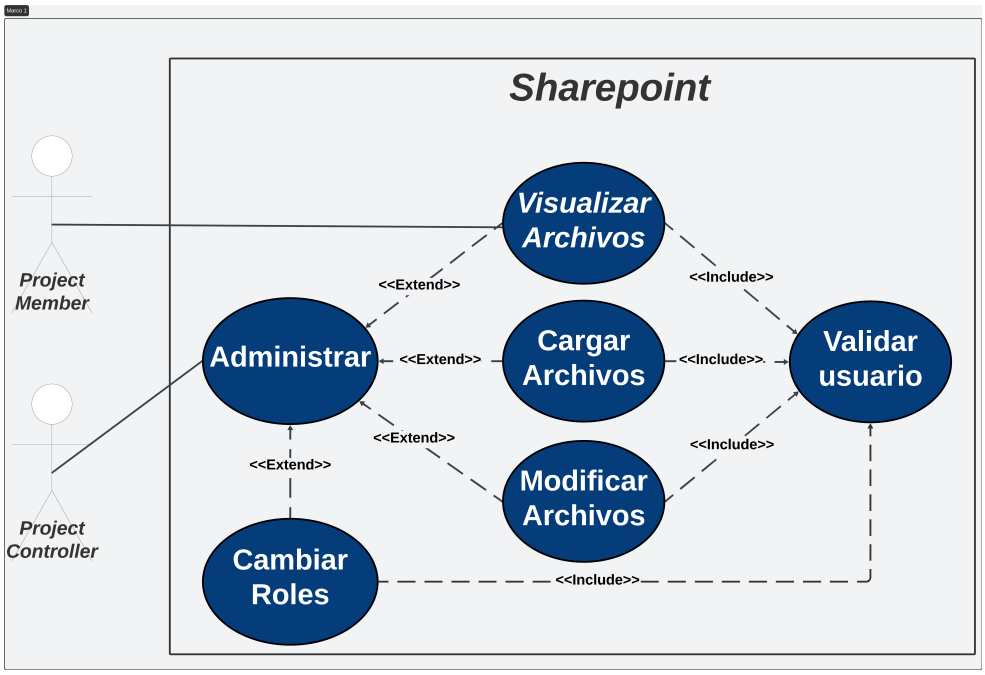


Figura 21: Diagrama de Casos de Uso para sitio en Sharepoint (Fuente: *Elaboración propia*)

Acciones Específicas	Responsables	Plazo	Indicadores de Éxito
Reestructuración del Sistema de Control en la Nube (SharePoint)	Tomás Marcotti	Antes del 14/06/2024	Acceso centralizado en tiempo real
Desarrollo del Libro de Excel para Seguimiento	Tomás Marcotti	Antes del 14/06/2024	Satisfacción de los participantes con el seguimiento en tiempo real
Reestructuración de Reuniones Semanales	Tomás Marcotti	Desde la semana siguiente	Reducción del tiempo medio de reuniones
Implementación de la Herramienta CPM para el Control de Tareas	Tomás Marcotti	Antes del 14/06/2024	Mejor visualización de la ruta crítica
Documentación del Progreso Semanal	Tomás Marcotti	Semanalmente desde la implementación	Registro actualizado en tiempo real

Tabla 1: Tabla Resumen de las Acciones del Plan de Acción

Factor	Antes de los cambios	Después de los cambios
Tiempo medio de reuniones semanales.	162 min	130 min
¿Existe un método de seguimiento en tiempo real?	✗	✓
¿Existe un orden lógico en las reuniones?	✗	✓
¿Existe un lugar que contenga toda la información del proyecto de manera centralizada?	✗	✓
¿Existe alguna visualización de dependencias entre actividades?	✗	✓ CPM

Figura 22: Comparación del Sistema de Control del Proyecto Antes y Después de Implementar los Cambios (Fuente: *Elaboración propia*)



TSG environmental

Minutas Internas Proyecto - 2024

Marcadores de Minutas

CTRL+Click en la fecha para ver la minuta correspondiente (**Fechas en rojo** indican en qué días hubo reunión):

MAYO

L	M	X	J	V	S	D
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	30	31	

JUNIO

L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

JULIO

L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Figura 23: Vista general de organización de búsqueda de minutas (Fuente: *Documento interno TSG*)

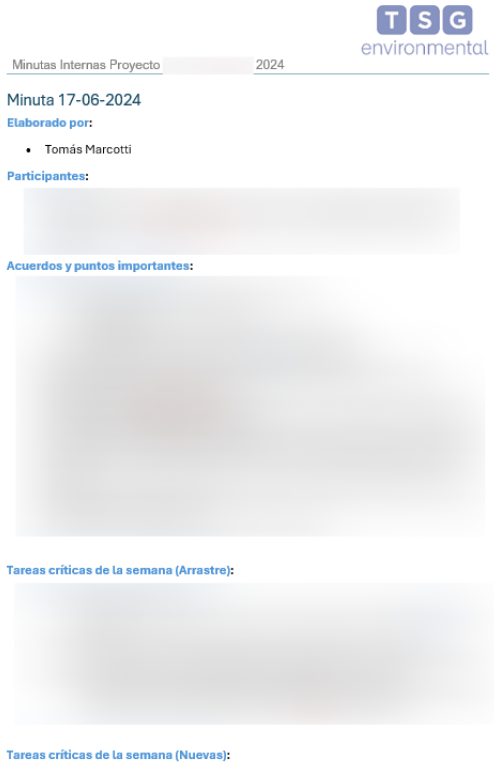


Figura 24: Vista general de estructura de minutas (Fuente: *Documento interno TSG*)

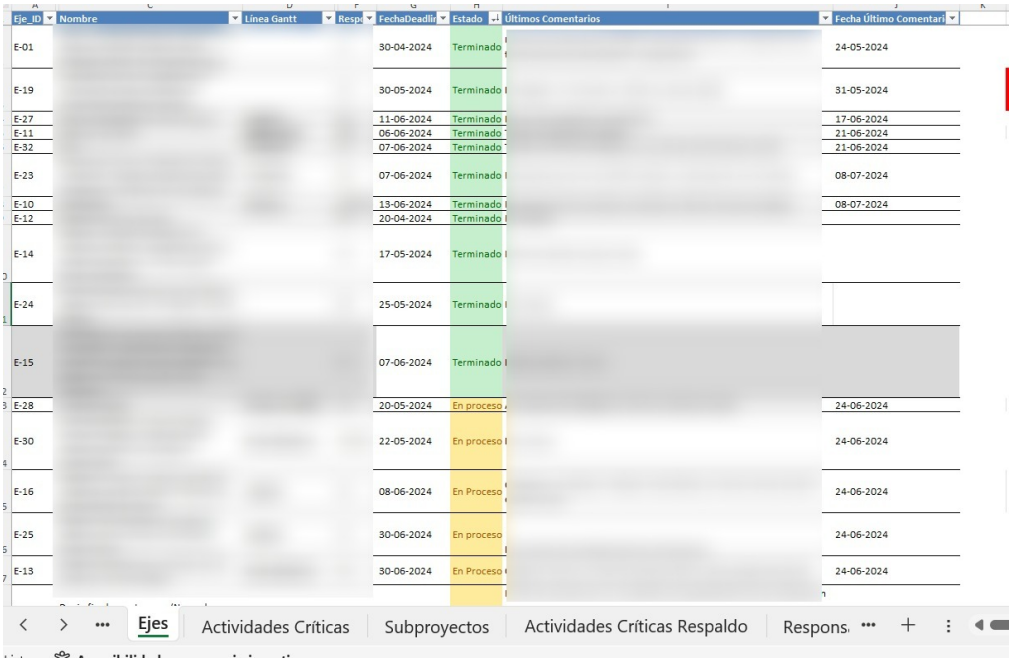


Figura 25: Vista general de Excel para el control del proyecto utilizado (Fuente: *Excel interno TSG*)

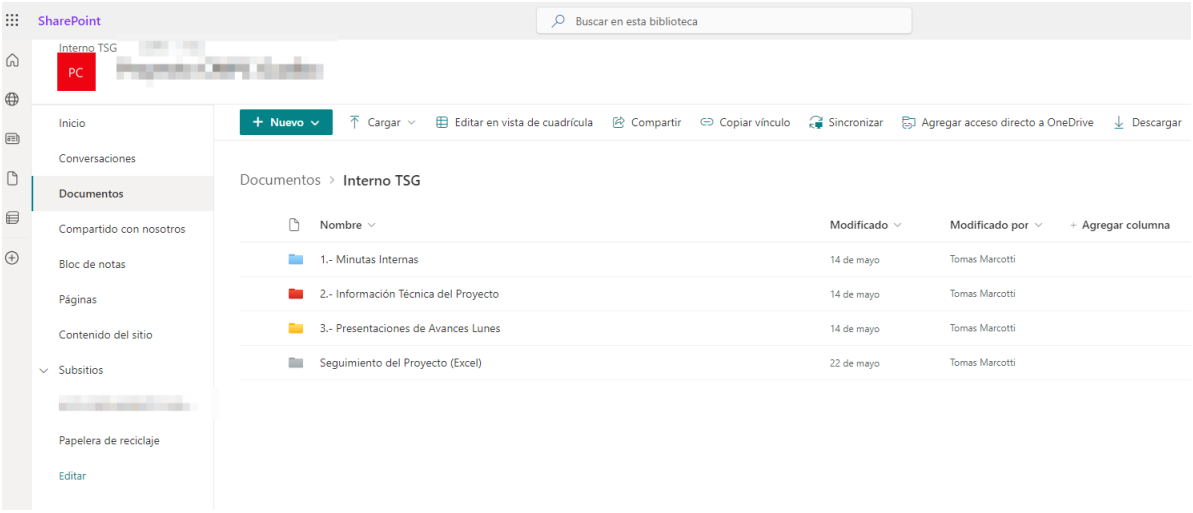


Figura 26: Vista principal de sitio web de Sharepoint utilizado (Fuente: *Sharepoint interno TSG*)

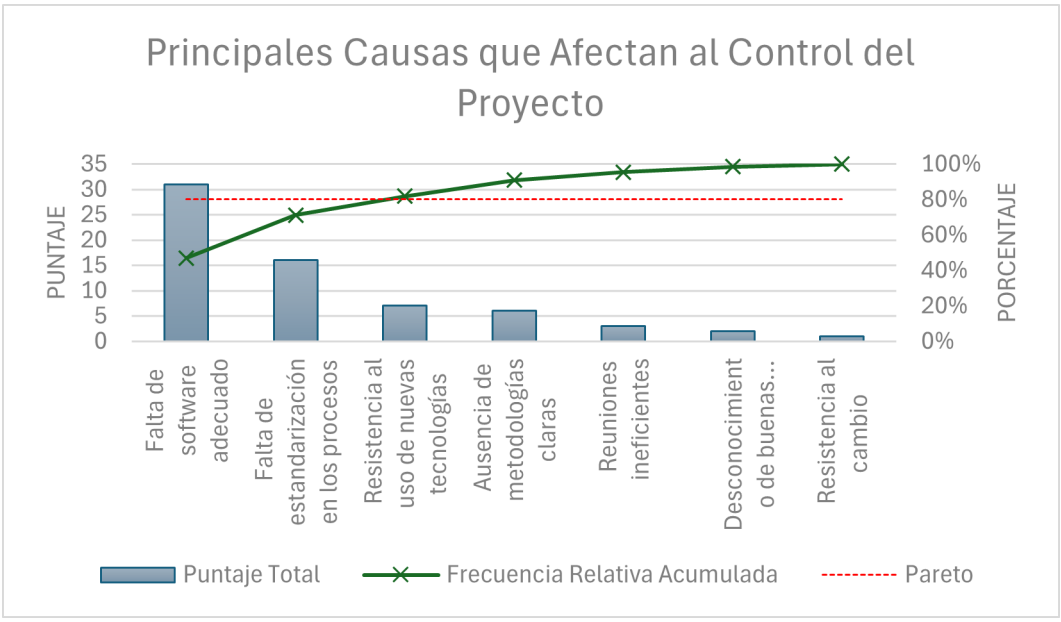


Figura 27: Diagrama de Pareto después de implementar los cambios (Fuente: *Elaboración propia*)

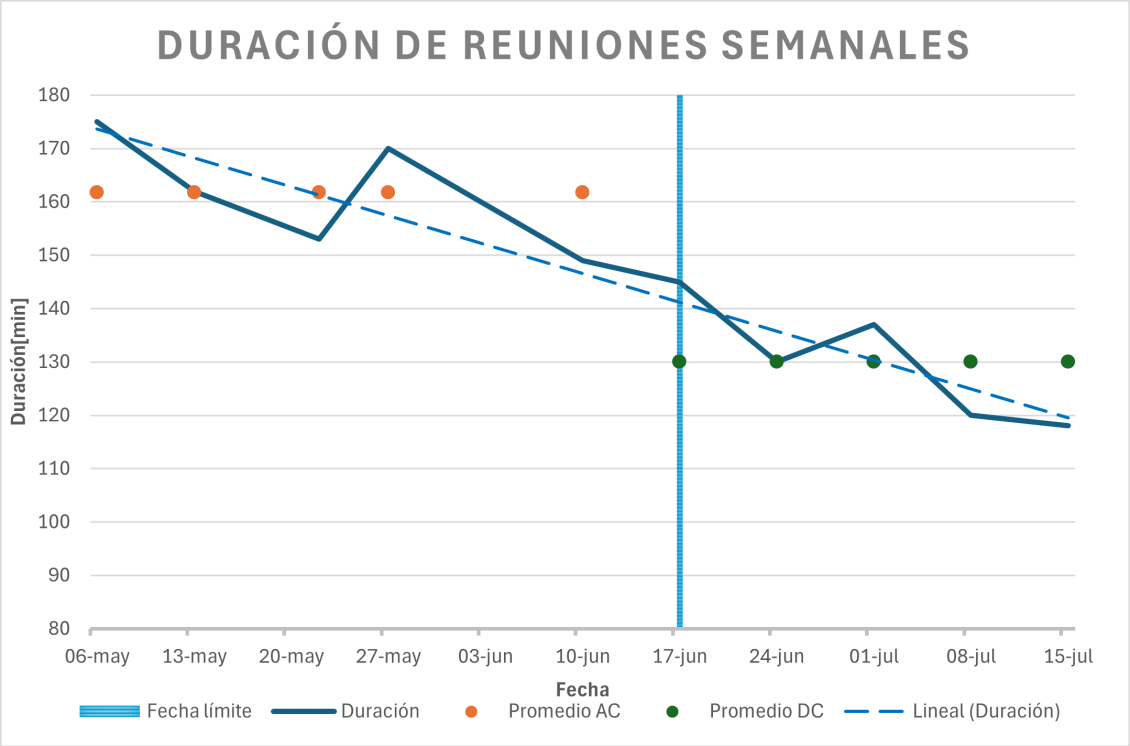


Figura 28: Gráfica Temporal de Duración de Reuniones Semanales (Fuente: *Elaboración propia*)

Promedio AC: Promedio antes de implementar los cambios en el sistema de control del proyecto

Promedio DC: Promedio después de implementar los cambios en el sistema de control del proyecto

11.2. ANEXO B: Datos para construcción de diagramas CPM

El color naranjo en las celdas representa cambios en parámetros de las actividades con respecto a la tabla anterior

Actividad	Código	Duración [Semanas]	Predecesoras (Relación)
Inicio del Proyecto	IN	0	-
Kick Off del Proyecto	KO	1	IN(SF)
Contratar de Personal	A	3	KO(SF)
Acreditar de personal	B	2	A(SF)
Capacitar del Personal	C	4	B(SS+1)
Revisar Contrato	D	2	KO(SF)
Negociar Contrato	E	1	D(SF)
Firmar Contrato	F	1	E(SF)
Definir Fuentes a Mitigar	G	2	F(SF)
Solicitar Piezas para Armado	H	3	G(SF)
Fabricar Equipos	I	3	H(SF)
Transportar Equipos	J	1	IN(SF)
Modelar 3D de Fuentes	K	2	G(SF)
Elaborar de CFD	L	3	K(SS+1)
Elaborar Propuesta Técnica	M	2	L(SS+1)
Definir Materiales para el Montaje	N	1	M(SS+1)
Compra y Recepción de Materiales	O	2	N(SF)
Importar MP para Neutralizante	P	3	KO(SF)
Desarrollar Fórmula de Neutralizante	Q	2	P(SF)
Fabricar Neutralizantes	R	3	Q(SF)
Transportar Neutralizantes	S	2	R(SF)
Instalar Equipos en Terreno	T	6	C(SF);J(SF);O(SF);S(SF)
Probar Funcionamiento en Terreno	U	2	T(SF)
Fin del Proyecto	FI	0	U(SF)

Tabla 2: Resumen de actividades del diagrama CPM inicial

Actividad	Código	Duración [Semanas]	Predecesoras (Relación)
Inicio del Proyecto	IN	0	-
Kick Off del Proyecto	KO	1	IN(SF)
Contratar de Personal	A	8	KO(SF)
Acreditar de personal	B	2	A(SF)
Capacitar del Personal	C	4	B(SS+1)
Revisar Contrato	D	2	KO(SF)
Negociar Contrato	E	1	D(SF)
Firmar Contrato	F	1	E(SF)
Definir Fuentes a Mitigar	G	2	F(SF)
Solicitar Piezas para Armado	H	3	G(SF)
Fabricar Equipos	I	3	H(SF)
Transportar Equipos	J	1	IN(SF)
Modelar 3D de Fuentes	K	2	G(SF)
Elaborar de CFD	L	3	K(SS+1)
Elaborar Propuesta Técnica	M	2	L(SS+1)
Definir Materiales para el Montaje	N	1	M(SS+1)
Compra y Recepción de Materiales	O	2	N(SF)
Importar MP para Neutralizante	P	3	KO(SF)
Desarrollar Fórmula de Neutralizante	Q	2	P(SF)
Fabricar Neutralizantes	R	3	Q(SF)
Transportar Neutralizantes	S	2	R(SF)
Instalar Equipos en Terreno	T	6	C(SF);J(SF);O(SF);S(SF)
Probar Funcionamiento en Terreno	U	2	T(SF)
Fin del Proyecto	FI	0	U(SF)

Tabla 3: Resumen de actividades del diagrama CPM N°1

Actividad	Código	Duración [Semana]	Predecesoras (Relación)
Inicio del Proyecto	IN	0	-
Kick Off del Proyecto	KO	1	IN(SF)
Contratar de Personal	A	8	KO(SF)
Acreditar de personal	B	2	A(SF)
Capacitar del Personal	C	4	B(SS+1)
Revisar Contrato	D	2	KO(SF)
Negociar Contrato	E	1	D(SF)
Firmar Contrato	F	1	E(SF)
Definir Fuentes a Mitigar	G	2	F(SF)
Solicitar Piezas para Armado	H	4	G(SF)
Fabricar Equipos	I	3	H(SF)
Transportar Equipos	J	1	IN(SF)
Modelar 3D de Fuentes	K	2	G(SF)
Elaborar de CFD	L	5	K(SS+1)
Elaborar Propuesta Técnica	M	4	L(SS+3)
Definir Materiales para el Montaje	N	1	M(SS+2)
Compra y Recepción de Materiales	O	2	N(SF)
Importar MP para Neutralizante	P	3	KO(SF)
Desarrollar Fórmula de Neutralizante	Q	2	P(SF)
Fabricar Neutralizantes	R	3	Q(SF)
Transportar Neutralizantes	S	2	R(SF)
Instalar Equipos en Terreno	T	6	C(SF);J(SF);O(SF);S(SF)
Probar Funcionamiento en Terreno	U	2	T(SF)
Fin del Proyecto	FI	0	U(SF)

Tabla 4: Resumen de actividades del diagrama CPM N°2

Actividad	Código	Duración [Semana]	Predecesoras (Relación)
Inicio del Proyecto	IN	0	-
Kick Off del Proyecto	KO	1	IN(SF)
Contratar de Personal	A	8	KO(SF)
Acreditar de personal	B	5	A(SF)
Capacitar del Personal	C	4	B(SS+3)
Revisar Contrato	D	2	KO(SF)
Negociar Contrato	E	1	D(SF)
Firmar Contrato	F	1	E(SF)
Definir Fuentes a Mitigar	G	2	F(SF)
Solicitar Piezas para Armado	H	4	G(SF)
Fabricar Equipos	I	3	H(SF)
Transportar Equipos	J	1	IN(SF)
Modelar 3D de Fuentes	K	2	G(SF)
Elaborar de CFD	L	5	K(SS+1)
Elaborar Propuesta Técnica	M	4	L(SS+3)
Definir Materiales para el Montaje	N	1	M(SS+2)
Compra y Recepción de Materiales	O	2	N(SF)
Importar MP para Neutralizante	P	3	KO(SF)
Desarrollar Fórmula de Neutralizante	Q	2	P(SF)
Fabricar Neutralizantes	R	3	Q(SF)
Transportar Neutralizantes	S	2	R(SF)
Instalar Equipos en Terreno	T	6	C(SF);J(SF);O(SF);S(SF)
Probar Funcionamiento en Terreno	U	2	T(SF)
Fin del Proyecto	FI	0	U(SF)

Tabla 5: Resumen de actividades del diagrama CPM N°3

Actividad	Código	Duración [Semana]	Predecesoras (Relación)
Inicio del Proyecto	IN	0	-
Kick Off del Proyecto	KO	1	IN(SF)
Contratar de Personal	A	8	KO(SF)
Acreditar de personal	B	5	A(SF)
Capacitar del Personal	C	4	B(SS+3)
Revisar Contrato	D	2	KO(SF)
Negociar Contrato	E	1	D(SF)
Firmar Contrato	F	1	E(SF)
Definir Fuentes a Mitigar	G	2	F(SF)
Solicitar Piezas para Armado	H	4	G(SF)
Fabricar Equipos	I	3	H(SF)
Transportar Equipos	J	1	IN(SF)
Modelar 3D de Fuentes	K	2	G(SF)
Elaborar de CFD	L	5	K(SS+1)
Elaborar Propuesta Técnica	M	4	L(SS+3)
Definir Materiales para el Montaje	N	1	M(SS+2)
Compra y Recepción de Materiales	O	2	N(SF)
Importar MP para Neutralizante	P	3	KO(SF)
Desarrollar Fórmula de Neutralizante	Q	2	P(SF)
Fabricar Neutralizantes	R	3	Q(SF)
Transportar Neutralizantes	S	2	R(SF)
Instalar Equipos en Terreno	T	5	C(SF);J(SF);O(SF);S(SF)
Probar Funcionamiento en Terreno	U	2	T(SF)
Fin del Proyecto	FI	0	U(SF)

Tabla 6: Resumen de actividades del diagrama CPM N°3.1

11.3. ANEXO C: Diagramas CPM

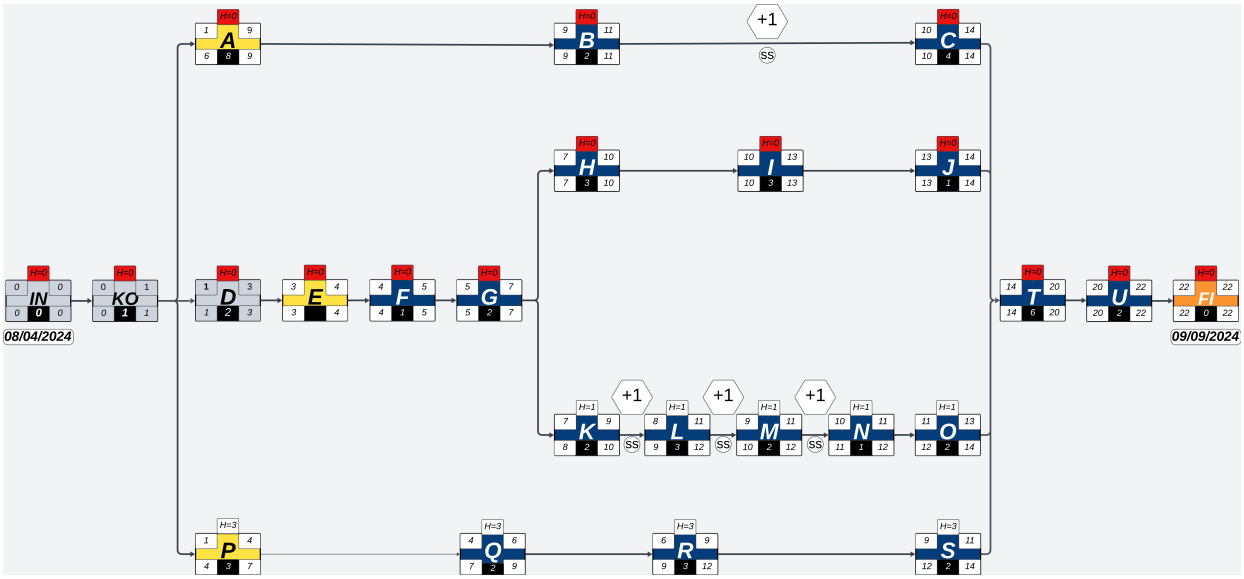


Figura 29: CPM N°1: Tras inundaciones en ciudad de la planta de celulosa (Fuente: *Elaboración propia*)

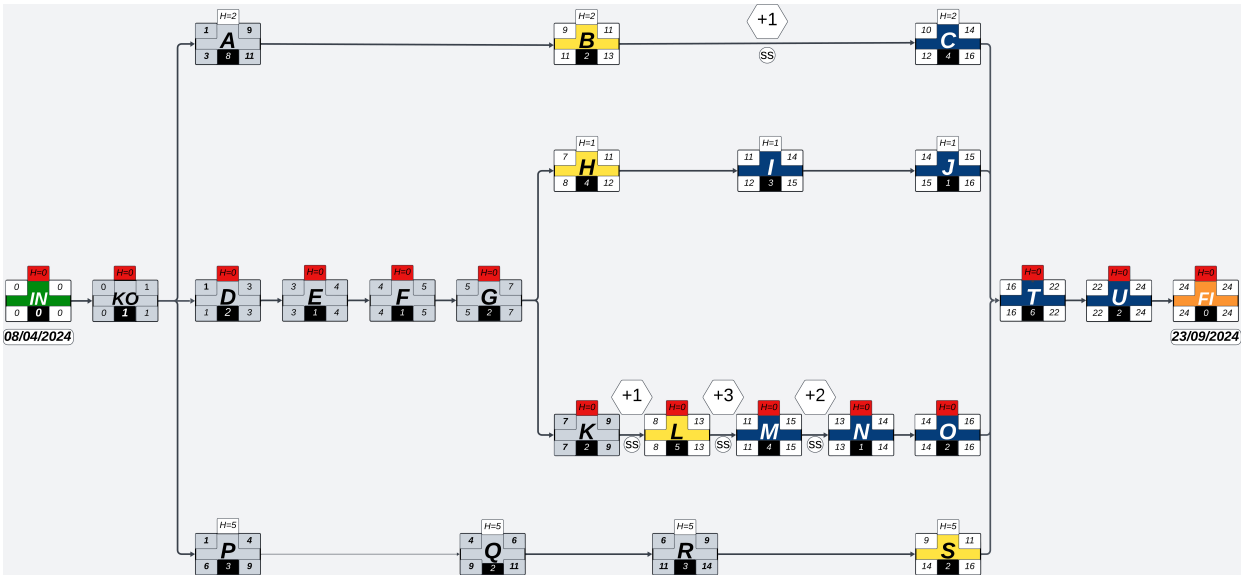


Figura 30: CPM N°2: Tras problema con armado de CFD (Fuente: *Elaboración propia*)

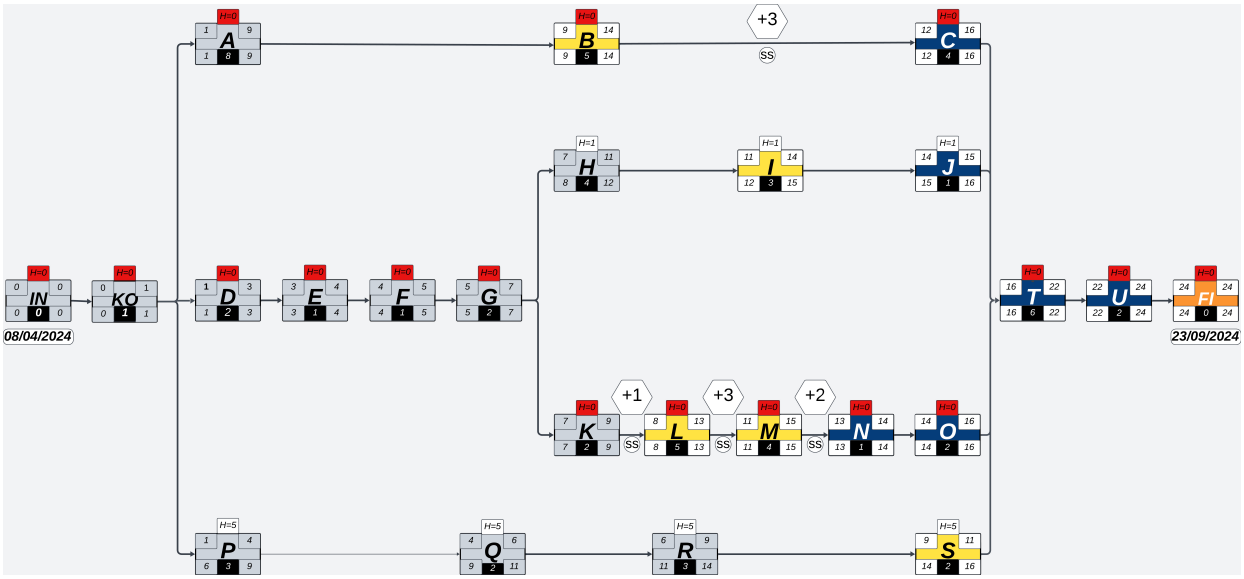


Figura 31: CPM N°3: Tras problema con contratos brasileños (Fuente: *Elaboración propia*)

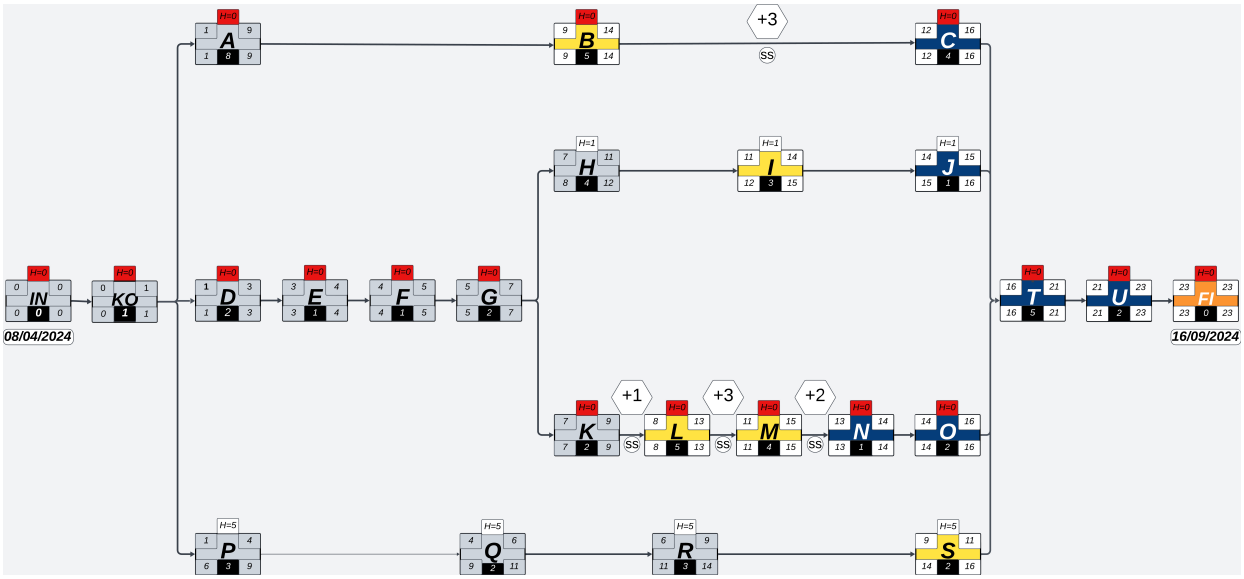


Figura 32: CPM N°3.1: Tras tomar acciones en el CPM N°3 (Fuente: *Elaboración propia*)

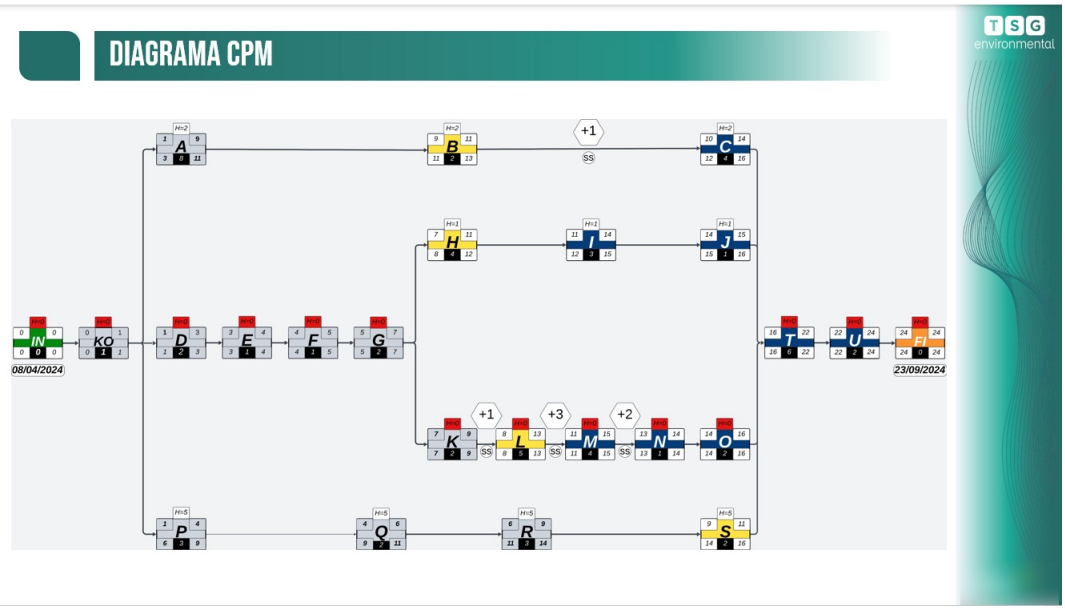


Figura 33: Vista de implementación de CPM en reuniones semanales (Fuente: *Presentación interna TSG*)

11.4. ANEXO D: Matrices de Decisión

Opción	IDP (Peso: 0.3)	$$ (Peso: 0.4)	RR (Peso: 0.3)	PT
Opción A: Acelerar RC	8 (2.4)	5 (2.0)	6 (1.8)	6.2
Opción B: Redistribución en RA	7 (2.1)	6 (2.4)	5 (1.5)	6.0
Opción C: Mantener Plan Actual	6 (1.8)	9 (3.6)	4 (1.2)	**6.6**

Tabla 7: Matriz de decisión para la evaluación de alternativas post CPM N°2

IDP: Impacto en la Duración del Proyecto

$$: Costo Asociado

RR: Riesgo de Tener Otros Retrasos

PT: Puntuación Total

Opción	IDP (Peso: 0.3)	$$ (Peso: 0.4)	RR (Peso: 0.3)	PT
Opción A: Mantener el Plan	5 (1.5)	6 (2.4)	7 (2.1)	**6.0**
Opción B: + Recursos en 2 RC	4 (1.2)	3 (1.2)	6 (1.8)	**4.2**
Opción C: + Recursos en Act. T	8 (2.4)	7 (2.8)	8 (2.4)	**7.6**

Tabla 8: Matriz de decisión para la evaluación de alternativas post CPM N°3

11.5. ANEXO E: Evolución del Diagrama del Ciclo de Deming

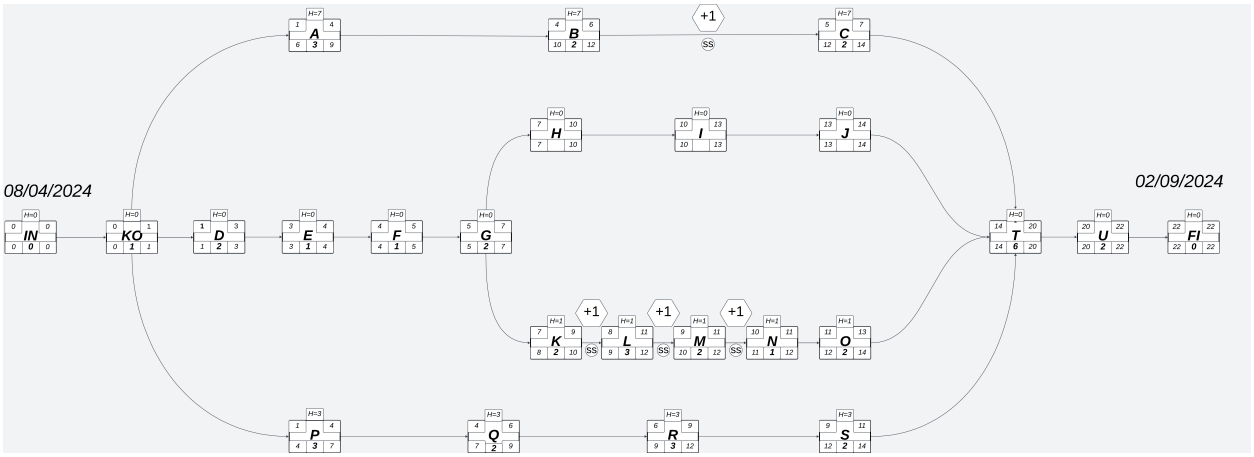


Figura 34: Primer estilo de diagrama CPM (Fuente: *Elaboración propia*)

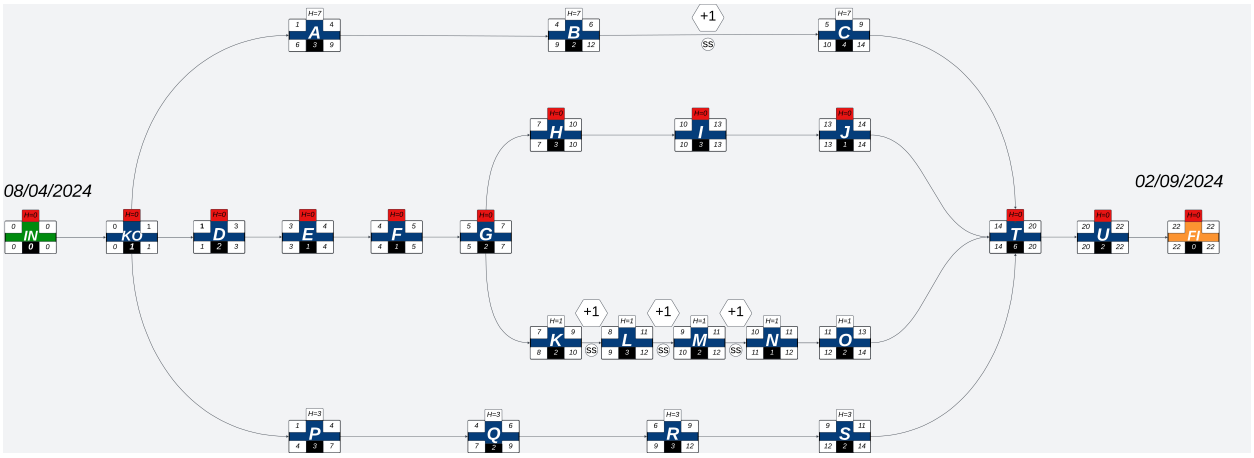


Figura 35: Segundo estilo de diagrama CPM después de una aplicación del Ciclo de Deming (Fuente: *Elaboración propia*)

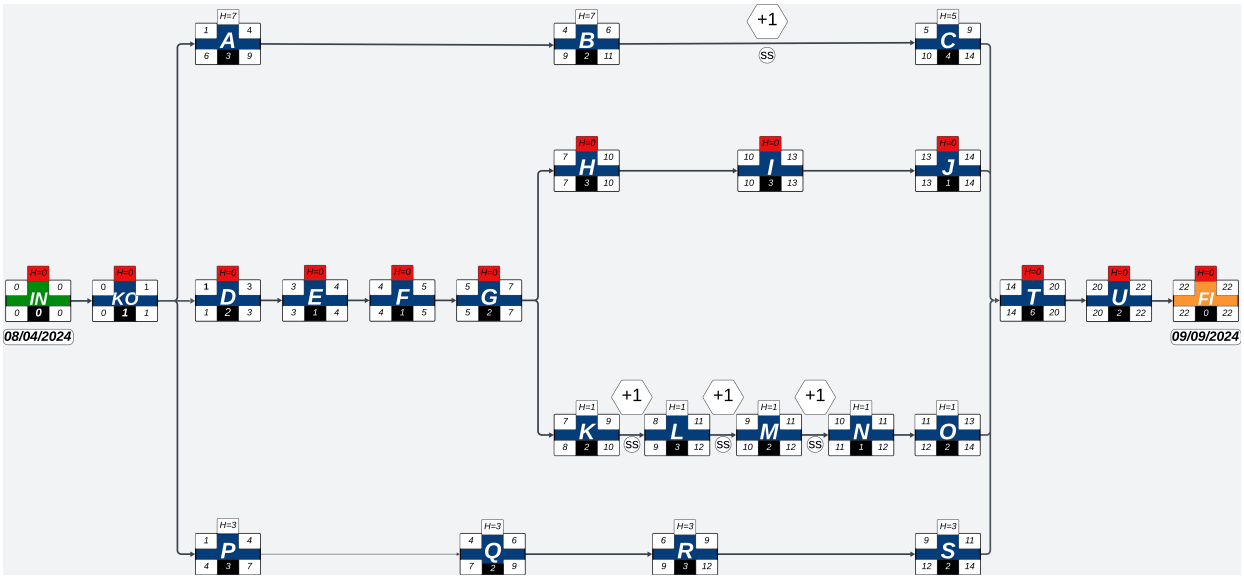


Figura 36: Tercer estilo de diagrama CPM después de dos aplicaciones del Ciclo de Deming (Fuente: *Elaboración propia*)

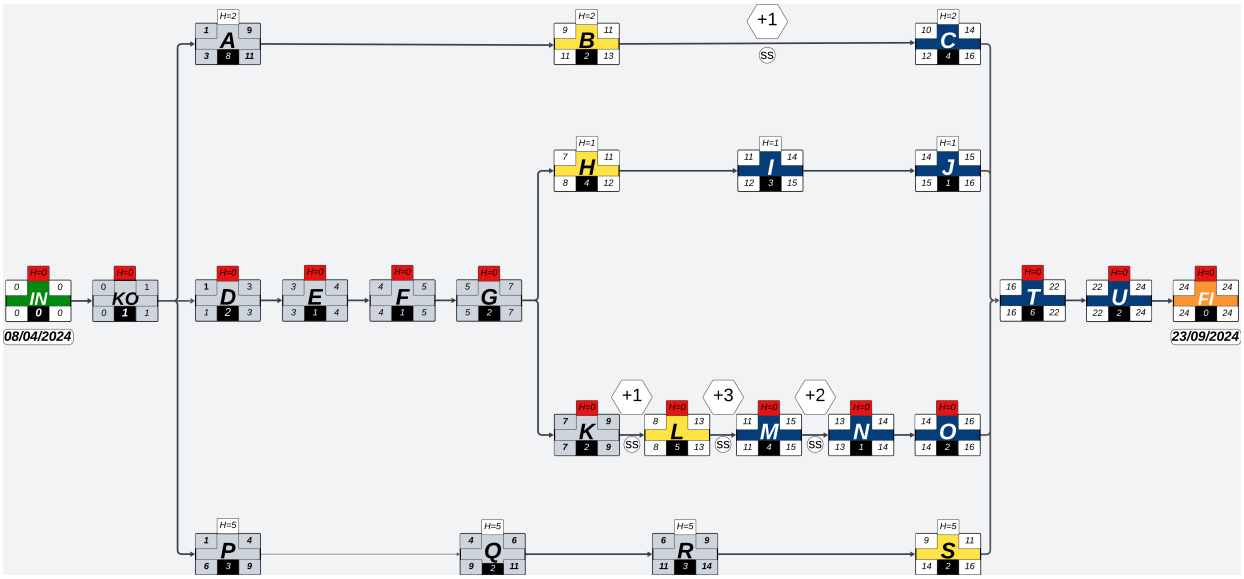


Figura 37: Cuarto estilo de diagrama CPM después de tres aplicaciones del Ciclo de Deming (Fuente: *Elaboración propia*)

Referencias

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2020). Decreto 25: Establece Norma de Emisión de Contaminantes para la Regulación de Olores en Plantas de Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos en la Industria Porcina. Accedido: 22 de julio de 2024.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2023). Decreto supremo n° 144. reglamento para la aplicación del artículo 40 bis del decreto con fuerza de ley n° 725, código sanitario, sobre olores molestos generados por centros de cultivo de especies hidrobiológicas. `https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1188661`. Accedido: 22 de julio de 2024.

Bokowa, A., del Carmen Cabezaand Dezhao Liuand Ralf Bothand Hugo Van Beloisand, C. D. J. A. K. M. M. J. B. G. S. J.-M. G. R. S. L. C. V. Z. C. I. I. B. A.-C. R. M., and Higuchi, T. (2021). Summary and overview of the odour regulations worldwide.

del Medio Ambiente de Chile, M. (2019). Instructivo para la elaboración de un plan de gestión de olores (pgo). Consultado en página 4.

Ence (2023). Proceso de elaboración de la celulosa. Consultado el: 22 de julio de 2024.

Environmental, T. (2024). ¿quiénes somos? Consultado el 22 de julio de 2024.

Falconi, V. (2015). Controle da qualidade total no estilo japonês. Consultado en julio de 2024.

Instituto Nacional de Normalización (INN) (2010). Nch 3190.of2010: Calidad del aire. determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica. Declarada norma oficial de la República mediante la Resolución Exenta N° 653 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. 29 de mayo de 2010.

Kreis, D., Gibson, B., Jasper, J., Van Dyke, C., Wallace, C., Catchings, R., and McCormack, S. (2019). Critical path for project development. Research Report KTC-19-22/SPR17-547-1F, Kentucky Transportation Center, University of Kentucky. Pages 5-6.

Ministerio de Medio Ambiente, Departamento de Ruido, L. y. O. D. d. C. d. A. (2017). Estrategia para la gestión de olores en chile - actualización 2017. Actualización realizada en noviembre de 2017. Página 4. Consultado el 22 de julio de 2024.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) (2019). Guía para la predicción y evaluación del impacto de olores en proyectos sometidos al seia. Accedido el 22 de julio de 2024.