



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**CONTROL DE CALIDAD EN MODELACIÓN 3D PIPING**

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de INGENIERA DE EJECUCIÓN EN  
GESTIÓN DE LA CALIDAD.

Alumna:  
Antonella Belén Lobos Sánchez

Profesor Guía:  
Gonzalo Sepúlveda

2025

## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

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

**Título del trabajo:** CONTROL DE CALIDAD EN MODELACIÓN 3D PIPING

**Nombre del candidato(a):** ANTONELLA BELÉN LOBOS SANCHEZ

**Carrera / Grado:** INGENIERA DE EJECUCIÓN EN GESTIÓN DE LA CALIDAD

**Campus:** SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA **Departamento:** QUIMICA Y MEDIO AMBIENTE

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Gonzalo Alejandro Sepúlveda Ramírez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

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

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

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

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

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

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

---



---



---

### 4.- FIRMAS

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

**Fecha:** 05/04/2026

**Firma:** 

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 05/04/2026

**Firma:** 

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

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene por objetivo diseñar una propuesta de mejora para el proceso de control de calidad en la modelación 3D de piping del departamento de Diseño y Desarrollo de una empresa real pero con nombre ficticio, identificada como Z&S Maestranza. Para ello se utiliza como caso de estudio la licitación 25067, asociada a un sistema de tuberías para dosificación de cianuro, a partir de la cual se analizan sucesivas revisiones de un plano (Revisión A y Revisión B) y el tiempo de retrabajo requerido para corregir los errores de diseño.

La investigación combina dos fuentes principales de información: una planilla consolidada de licitaciones y controles de plano del departamento, y una encuesta aplicada a proyectistas y dibujantes de la V Región, en distintos niveles de experiencia, que permite estimar tiempos mínimos, intermedios y máximos de corrección para 15 tipos de errores críticos en planos de piping. Estos datos se procesan en Excel para calcular tiempos promedio de retrabajo, construir tablas comparativas entre el área de D&D y un proyectista representativo, y elaborar herramientas estadísticas como diagramas de Pareto y cartas de control tipo I-MR.

Los resultados muestran que, en la Revisión A, el proceso de retrabajo es estadísticamente estable, pero altamente ineficiente, concentrando la mayor parte del tiempo en pocos tipos de error (principalmente B, H e I). A partir de este diagnóstico se propone un conjunto de acciones de mejora basadas en estandarización del proceso de revisión, uso de checklists focalizados en errores críticos, revisión cruzada entre D&D y proyectista y ordenamiento de la documentación de referencia. Tras su aplicación, la Revisión B evidencia una reducción superior al 90 % en el tiempo de retrabajo tanto para el departamento como para el proyectista, y permite generar un modelo 3D del sistema de piping más completo, consistente y confiable, que disminuye la probabilidad de interferencias y modificaciones en etapas posteriores del proyecto.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	2
INDICE .....	3
INTRODUCCIÓN .....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
OBJETIVO GENERAL .....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
ALCANCE.....	8
1. CAPÍTULO 1: “MARCO TEORICO” .....	9
1.1. Z&S Maestranza.....	9
1.1.1 Misión y visión.....	9
1.1.2 Valores corporativos.....	9
1.1.3 Descripción de la Organización. ....	10
1.2 Caso de estudio y fuentes de datos para proyecto .....	10
1.2.1 Caso de estudio, Obtención de base de datos e instrumentos de levantamiento. ...	10
1.2.2 Proceso de depuración y preparación de datos.....	15
1.3 Herramientas para sustentar el proceso de calidad .....	16
1.3.1 Análisis general de departamento, diseño y desarrollo en Z&S MAESTRANZA	16
1.3.2 Herramientas de análisis de procesos.....	19
1.3.3 Herramientas de control de calidad estadístico .....	20
2. CAPÍTULO 2: “PROCEDIMIENTOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS”	22
2.1 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS .....	22
2.1.1. Revisión de datos en Excel.....	22
2.1.2 Comportamiento de tiempo tras modificación Para revisión A.....	37
2.1.3 Comportamiento de tiempo tras modificación para Revisión B .....	42
2.2 Resultados obtenidos.....	48
3. CAPÍTULO 3: “PROPUESTA DE OPCIONES DE MEJORA” .....	52
3.1 PROPUESTA DE OPCIONES DE MEJORA.....	52
3.1.1 Diagrama de Causa – Efecto .....	52
3.1.2 Propuesta 1 tras análisis de diagrama de Pareto.....	53
4 DISCUSIÓN .....	54
5 CONCLUSIONES .....	54

6	BIBLIOGRAFIA .....	55
---	--------------------	----

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1	Formulario sobre el levantamiento de información [1].....	13
Ilustración 1.2	Formulario sobre el levantamiento [1] (continuación...).....	14
Ilustración 1.3	Formulario sobre el levantamiento [1] (continuación...).....	14
Ilustración 1.4	Datos de formulario en Excel. ....	15
Ilustración 1.5	Mapa de procesos ejemplo.....	18
Ilustración 1.6	8 pasos para la solución de un problema [4].....	19
Ilustración 1.7	Formulas UCL y LCL .....	21
Ilustración 2.1	Plano PL-25067-ZS-PP-REVA .....	23
Ilustración 2.2	Plano PL-25067-ZS-PP-REVA .....	24
Ilustración 2.3	Tabla comparativa revisión A - Etapa 2 .....	27
Ilustración 2.4	Representación de proceso de información .....	28
Ilustración 2.5	Tabla comparativa Etapa 2 - Revisión B.....	33
Ilustración 2.6	Plano PL-25067-ZS-PP-REVB.....	36
Ilustración 2.7	Diagrama de pareto análisis retrabajo para el departamento D&D.....	38
Ilustración 2.8	Carta I - Tiempo total de retrabajo D&D (min) .....	41
Ilustración 2.9	Carta I - Tiempo total de retrabajo D&D (min) .....	42
Ilustración 2.10	Diagrama de Pareto - Tiempo total de retrabajo por tipo de error (D&D).....	45
Ilustración 2.11	Diagrama de Pareto - Tiempo total de retrabajo por tipo de error para proyectista 1 .....	47
Ilustración 2.12	Control de calidad en planos.....	49
Ilustración 2.13	Modelo 3D sin errores – Tramo 1;2;3.....	50
Ilustración 2.14	Modelo 3D sin errores - Tramo 3.....	50
Ilustración 2.15	Modelo 3D sin errores – Tramo 4;5;6.....	51
Ilustración 2.16	Modelo 3D sin errores – Tramo 1;2;3;4;5;6.....	51
Ilustración 3.1	Diagrama causa - efecto (ISHIKAWA).....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Planilla de licitaciones 2024 departamento de diseño y desarrollo. ....	11
Tabla 1.2	Planilla de licitaciones 2025 ingresadas en el departamento Diseño & Desarrollo .....	12
Tabla 1.3	Análisis SIPOC departamento de Diseño y Desarrollo .....	17
Tabla 2.1	Formulario sobre levantamientos de tiempo en corrección.....	25
Tabla 2.2	Tabla comparativa revisión A - Etapa 1.....	26
Tabla 2.3	Tabla comparativa - Etapa 3 – Revisión A .....	27
Tabla 2.4	Tiempo promedio de retrabajo en departamento D&D. ....	29
Tabla 2.5	Tiempo promedio de retrabajo por el proyectista 1.....	30
Tabla 2.6	Comparativa de tiempo de retrabajo entre departamento de D&D y proyectista 1.....	31
Tabla 2.7	Tabla comparativa revisión B- Etapa 1 .....	32
Tabla 2.8	Tabla comparativa Etapa 3 - Revisión B.....	34
Tabla 2.9	Comparativa de tiempo de retrabajo entre departamento D&D y proyectista 1 .....	35

Tabla 2.10 Tabla Retrabajos dep D&D para diagrama de Pareto.....	37
Tabla 2.11 Datos para carta de control tipo I-MR-DEP D&D - Revisión A .....	39
Tabla 2.12 Carta de control tipo I-MR-DEP D&D - Revisión A (complementaria) .....	39
Tabla 2.13 Carta de control tipo I – REVISIÓN A .....	40
Tabla 2.14 Carta de control tipo MR – REVISIÓN A .....	41
Tabla 2.15 Tabla 2.16 Comparativa entre departamento D&D y proyectista 1 .....	43
Tabla 2.16 Retrabajos departamento D&D para diagrama de Pareto Revisión B.....	44
Tabla 2.17 Retrabajos departamento D&D para diagrama de Pareto Revisión B.....	46

## SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

D&D: Departamento de Diseño y Desarrollo, en donde se implementa el proyecto

MR: MR: Rango Móvil. Medida de variación de corto plazo utilizada en la carta I-MR, calculada como la diferencia absoluta entre dos observaciones consecutivas

SIPOC: Proveedores–Entradas–Proceso–Salidas–Clientes. Herramienta de mapeo de alto nivel que permite delimitar un proceso identificando sus proveedores, entradas, etapas principales, salidas y clientes.

3D: Tercera dimensión. Representación tridimensional de un elemento o sistema (por ejemplo, modelación 3D de piping) considerando largo, ancho y alto.

UCL: Límite Superior de Control. Valor máximo permitido por la carta de control; si una medición supera este límite, se interpreta como posible presencia de una causa especial de variación.

LCL: Límite Inferior de Control. Valor mínimo permitido por la carta de control; si una medición cae bajo este límite, se interpreta como posible presencia de una causa especial de variación.

## INTRODUCCIÓN

En el área de diseño y desarrollo se integran distintas disciplinas de ingeniería (principalmente tuberías, mecánica, civil y eléctrica) en donde se disponen de la generación de modelos 3D y planos de sistemas de tuberías; sin embargo, el proceso de modelación no tiene una metodología de trabajo estándar dentro del diseño de ingeniería, por ello se pierde mucho tiempo en los retrabajos, existiendo un costo mayor de ejecución de horas hombre y variabilidad en los plazos de entrega de los proyectos que disponen de 3D, hasta la multas por retrasos en la entrega de ingeniería conceptual.

En este contexto, este trabajo se enfoca en diseñar herramienta de control de calidad que permite evaluar los tiempos del proceso de modelación 3D y elaboración de planos de tubería, utilizando como insumo la información levantada desde el propio departamento (registros de horas de trabajo y checklist de errores por tipo), para generar información cuantitativa y trazable respecto de cómo se ejecutan actualmente los procesos y cómo podrían mejorar, de modo de disminuir o eliminar retrabajos, horas extras e inconsistencias en la documentación y la coordinación entre disciplinas.

El tratamiento de datos se realiza en base a instrumentos de levantamiento de información en donde la población se agrupa como proyectistas y dibujantes de la 5ta región, en categorías de junior, semi-senior y senior.

Es por esto que este estudio se estructura de 3 capítulos, el primero es un marco teórico, en el segundo capítulo se abordan los procedimientos e información sobre el retrabajo para el proceso de planimetría y modelación 3D, y finalmente, un tercer capítulo en donde se proponen mejoras a corto plazo.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **OBJETIVO GENERAL**

Optimizar el proceso de trabajos en planos y modelación 3D en el departamento de Diseño y Desarrollo en la empresa Z&S MAESTRANZA, mediante la reducción del tiempo asociado a la corrección de errores en los planos y diseños 3D, asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnicas del cliente y mejorando la eficiencia operacional del área, con el fin de disminuir los plazos de entrega y aportar a un beneficio económico donde se disminuyen los tiempos de trabajo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estandarizar los tipos de error de diseño y revisión dentro del área de Diseño y Desarrollo, mediante la elaboración de mapas de procesos y criterios técnicos uniformes que asegure la consistencia y calidad del modelo 3D entregado al cliente.
- Fortalecer los controles de validación y aseguramiento de la calidad en las etapas de planos y revisión de los diseños 3D, incorporando indicadores de desempeño y mecanismos de seguimiento que permitan detectar y corregir desviaciones oportunamente.
- Optimizar los tiempos de ejecución del proceso de modelación 3D, reduciendo la tasa de tiempo (en minutos) y el tiempo total del proceso asociado, con el propósito de incrementar la eficiencia operativa y mejorar el cumplimiento de los plazos de entrega comprometidos con los clientes.

## ALCANCE

El alcance de este trabajo se circunscribe al análisis del proceso de diseño y control de calidad de modelos 3D y planos de piping en el departamento de Diseño y Desarrollo de Z&S Maestranza (empresa ficticia basada en experiencias reales), tomando como caso de estudio la licitación 25067 y el plano PL-25067-ZS-PP en sus revisiones A y B. El estudio se enfoca únicamente en los errores de diseño presentes en dicho plano, en el tiempo de retrabajo asociado a su corrección y en la comparación entre el desempeño del departamento D&D y un proyectista representativo, sin abarcar la etapa de construcción en terreno ni la evaluación económica detallada del proyecto.

La investigación considera como fuentes de información levantada de experiencias previas la planilla histórica de licitaciones del departamento de Diseño y Desarrollo (D&D), los registros de control de plano y una encuesta aplicada a proyectistas y dibujantes de la V Región, a partir de la cual se obtienen tiempos estimados de retrabajo para 15 tipos de errores de piping. Sobre esta base se desarrollan análisis estadísticos descriptivos, diagramas de Pareto, cartas de control tipo I–MR y un diagrama de causa–efecto, con el propósito de priorizar errores críticos y proponer acciones de mejora de corto plazo, tales como procedimientos de revisión, checklists y lineamientos para la generación del modelo 3D.

Quedan fuera del alcance del estudio la validación de los resultados en múltiples proyectos, el análisis de impacto en costos totales, seguridad operacional o disponibilidad de planta, así como la implementación formal de un sistema corporativo de control estadístico de procesos. Estos aspectos se reconocen como líneas de trabajo futuras para ampliar y profundizar la aplicación de la metodología propuesta en otros proyectos y áreas de la organización.

## 1. CAPÍTULO 1: “MARCO TEÓRICO”

### 1.1. Z&S Maestranza

#### 1.1.1 Misión y visión.

Misión: Nos comprometemos a ser un socio estratégico en las necesidades de nuestros clientes, ofreciendo soluciones multidisciplinarias abordadas de manera rápida, eficiente y segura, con enfoque en la calidad de los servicios entregados, mediante colaboradores altamente comprometidos y enfocados en el desarrollo continuo de la compañía en todas sus líneas de negocio.

Visión: Posicionar a Z&S MAESTRANZA como líder en el mercado nacional, ofreciendo los menores tiempos de respuesta a las necesidades multidisciplinarias en la gran minería e industria, destacándonos por nuestra excelencia en el desarrollo en la ejecución y compromiso, además nos comprometemos en buscar la innovación con calidad y cuidado del medio ambiente de forma constante, diferenciándonos a través de la eficiencia en todas nuestras disciplinas.

#### 1.1.2 Valores corporativos.

Dentro de los valores corporativos se encuentran:

- Valor por la vida: Valoramos la vida de cada uno de los integrantes de nuestra organización, por lo que no negociamos con la Seguridad y Salud en nuestras acciones y decisiones.
- Integridad y ética: Somos consecuentes en nuestras acciones, cumplimos nuestras promesas y actuamos con honestidad, respeto, justicia y ética.
- Enfoque en el cliente: Ponemos al cliente en el centro de todas las decisiones y esfuerzos, adaptándonos flexiblemente a sus necesidades y superando sus expectativas.
- Diversidad e inclusión: Fomentamos la apreciación y promoción de la diversidad en el ámbito laboral y respeto hacia todas las personas.
- Respeto por la comunidad y el medio ambiente: Respetamos los derechos de las comunidades locales y minimizamos el impacto ambiental a través de productividad sustentable.
- Orientación a los resultados: Enfoque en el logro de las metas y objetivos comunes con la eficiencia en la ejecución de las tareas, la mejora continua de procesos y cumpliendo con lo comprometido.

### 1.1.3 Descripción de la Organización.

Z&S MAESTRANZA cuenta con más de 25 años de experiencia, se dedica al mantenimiento preventivo y correctivo de plantas industriales, proyectos de ingeniería y construcción, reparación y armado de equipos del rubro minero; Así como la fabricación y/o montaje de partes y piezas especiales, Tuberías, Estructuras y Componentes Industriales, ofreciendo soluciones multidisciplinarias en todos los desafíos a desarrollar.

Nos caracterizamos por tener equipos de profesionales altamente comprometidos con el resultado de los contratos con nuestros clientes, basando nuestras relaciones comerciales en la confianza y seriedad para el desarrollo de cada uno de estos.

## 1.2 Caso de estudio y fuentes de datos para proyecto

### 1.2.1 Caso de estudio, obtención de base de datos e instrumentos de levantamiento.

En el presente trabajo de título se representa de manera realista el comportamiento del área de diseño y desarrollo en la ejecución de planos de sistemas de tuberías. Con este propósito, se construye una planilla en Excel a partir de información interna de la empresa Z&S Maestranza, la cual se complementa con un instrumento de levantamiento aplicado a proyectistas y dibujantes del rubro. La combinación de ambas fuentes permite disponer de datos sobre licitaciones y retrabajo, junto con la percepción del equipo respecto de las causas que originan los errores en los planos.

En primer lugar, se recopila el registro histórico de licitaciones y trabajos de diseño asociados al departamento de diseño y desarrollo para los años 2024–2025. Esta información se encuentra distribuida en distintos archivos internos (correos, reportes de avance y planillas parciales), por lo que se consolida en una planilla única, donde se registran, entre otros, los siguientes datos: número de licitación, cliente, disciplina involucrada (mecánica, civil, eléctrica o combinaciones), existencia de modelo 3D, fechas de trabajo, cantidad de errores detectados en los planos y tiempos de retrabajo por tramo. Esta planilla corresponde a la “Planilla de licitaciones ingresadas en el departamento Diseño & Desarrollo [1]” y constituye la base de datos principal del estudio.

Posteriormente, se realiza un proceso de depuración y estandarización de la información. Se eliminan registros duplicados, se corrigen inconsistencias en nombres de clientes y disciplinas, y se homogenizan los criterios para registrar errores y tiempos de retrabajo (por ejemplo, definiendo tramos y tipos de error de forma consistente). De esta manera, se asegura que los datos sean comparables entre distintas licitaciones más adelante y que la base construida refleje de forma coherente el desempeño del área a lo largo del periodo analizado.

En forma complementaria, se aplica un cuestionario a proyectistas y dibujantes vinculados a proyectos de piping, con el fin de recoger información cuantitativa sobre el tiempo en tipo de errores, causas percibidas de retrabajo, uso de herramientas de diseño y condiciones de trabajo. Las respuestas de la encuesta se ordenan e incorporan a una segunda hoja de la planilla Excel, lo que permite relacionar las percepciones del equipo con los datos cuantitativos de licitaciones y retrabajo. En conjunto, estas fuentes de información entregan el soporte necesario para el análisis

posterior mediante diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa y demás herramientas estadísticas utilizadas en el desarrollo del proyecto.

Tabla 1.1 Planilla de licitaciones 2024 departamento de diseño y desarrollo.

Numero de licitación	Nombre de licitación	Empresa a licitar	Diciplina	¿Tiene modelo 3D?	Fecha entrea a Dep D&D	Fecha de postulación	Fecha de aceptación o rechazo de licitación	
							aceptación o rechazo	Fecha
24079	MONTAJE DE ESTANQUES SECTOR SUR	CLIENTE A	M.C	SI	miércoles, 10 de enero de 2024	miércoles, 17 de enero de 2024	ACEPTADA	miércoles, 7 de febrero de 2024
24103	MONTAJE ESTRUCTURAL AREA SECA	CLIENTE B	CIVIL	NO	miércoles, 14 de febrero de 2024	miércoles, 21 de febrero de 2024	ACEPTADA	martes, 13 de febrero de 2024
24127	MONTAJE DE PIPERACK PLANTA DE ACIDO	CLIENTE C	M.C	NO	miércoles, 20 de marzo de 2024	miércoles, 27 de marzo de 2024	ACEPTADA	jueves, 18 de febrero de 2024
24146	SERVICIO DE REPARACIÓN DE COMPONENTES AREA SECA	CLIENTE D	MECANICA	NO	jueves, 18 de abril de 2024	jueves, 25 de abril de 2024	ACEPTADA	miércoles, 22 de mayo de 2024
24154	BOMBAS SALA DE EXTRACCIÓN	CLIENTE E	M.E	SI	jueves, 2 de mayo de 2024	jueves, 9 de mayo de 2024	ACEPTADA	viernes, 31 de mayo de 2024
24177	SERVICIO MEJORAMIENTO GASES REACTOR SONIC	CLIENTE F	MECANICA	NO	jueves, 6 de junio de 2024	jueves, 13 de junio de 2024	ACEPTADA	viernes, 5 de julio de 2024
24201	RETIRO DE RASTRA	CLIENTE G	MECANICA	SI	viernes, 12 de julio de 2024	lunes, 22 de julio de 2024	ACEPTADA	miércoles, 14 de agosto de 2024
24211	CAMBIO REDUC. LINEA 3 BOMBA WARMAN MOLIENDA	CLIENTE H	MECANICA	SI	martes, 30 de julio de 2024	martes, 6 de agosto de 2024	ACEPTADA	jueves, 28 de agosto de 2025
24235	SERVICIO DE REPARACIÓN CALDERA 1	CLIENTE I	MECANICA	SI	miércoles, 4 de septiembre de 2024	miércoles, 11 de septiembre de 2024	ACEPTADA	martes, 8 de octubre de 2024
24260	SERVICIO DE REPARACIÓN DE COMPONENTES AREA HUMEDA	CLIENTE J	MECANICA	NO	miércoles, 16 de octubre de 2024	miércoles, 23 de octubre de 2024	ACEPTADA	viernes, 15 de noviembre de 2024
24266	INGENIERIA COMPLEMENTARIA	CLIENTE K	M.C.E	SI	viernes, 25 de octubre de 2024	martes, 5 de noviembre de 2024	ACEPTADA	jueves, 28 de noviembre de 2024
24289	RETIRO Y MONTAJE AIREADORES	CLIENTE L	MECANICA	SI	lunes, 2 de diciembre de 2024	lunes, 9 de diciembre de 2024	ACEPTADA	martes, 31 de diciembre de 2024

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.2 Planilla de licitaciones 2025 ingresadas en el departamento Diseño & Desarrollo


Numero de licitación	Nombre de licitación	Empresa a licitar	Disciplina	¿Tiene modelo 3D?	Fecha entrega a Dep D&D	Fecha de postulación	Fecha de aceptación o rechazo de licitación	
							aceptación o rechazo	Fecha
25001	SERVICIO MEJORAMIENTO GASES REACTOR SONIC	CLIENTE A	MECANICA	SI	viernes, 27 de diciembre de 2024	lunes, 6 de enero de 2025	ACEPTADA	lunes, 27 de enero de 2025
25003	CONTRATO APOYO MANTENIMIENTO MECANICO	CLIENTE B	MECANICA	SI	jueves, 2 de enero de 2025	jueves, 9 de enero de 2025	ACEPTADA	jueves, 30 de enero de 2025
25004	EVALUACIÓN PLANTA HIDROFLOTACIÓN	CLIENTE C	M.C.E	SI	viernes, 3 de enero de 2025	viernes, 10 de enero de 2025	ACEPTADA	viernes, 31 de enero de 2025
25005	AREA HUMEDA	CLIENTE D	MECANICA	SI	martes, 7 de enero de 2025	martes, 14 de enero de 2025	ACEPTADA	martes, 4 de febrero de 2025
25008	SERVICIO DE REPARACIÓN TUBERIAS SECTOR SUR	CLIENTE E	MECANICA	SI	lunes, 13 de enero de 2025	lunes, 20 de enero de 2025	ACEPTADA	lunes, 10 de febrero de 2025
25009	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL RESERVOIRIO	CLIENTE F	M.C	SI	martes, 14 de enero de 2025	martes, 21 de enero de 2025	ACEPTADA	martes, 11 de febrero de 2025
25010	SERVICIO DE REPARACIÓN PANELES DGP	CLIENTE G	M.E	NO	jueves, 16 de enero de 2025	jueves, 23 de enero de 2025	ACEPTADA	jueves, 13 de febrero de 2025
25021	REPARACIÓN PUENTE EL DURAZNO	CLIENTE H	C	SI	lunes, 3 de febrero de 2025	lunes, 10 de febrero de 2025	ACEPTADA	lunes, 3 de marzo de 2025
25033	REPARACIÓN COILS	CLIENTE I	MECANICA	SI	jueves, 20 de febrero de 2025	jueves, 27 de febrero de 2025	RECHAZADA	jueves, 20 de marzo de 2025
25035	CUBICACIÓN Y MONTAJE DE TORRES ELECTRICAS	CLIENTE J	C.E	SI	martes, 25 de febrero de 2025	martes, 4 de marzo de 2025	ACEPTADA	martes, 25 de marzo de 2025
25040	REPARACIÓN SIS. DE TUBERIAS ESTANQUE 1 DE FLOTACIÓN	CLIENTE K	MECANICA	NO	miércoles, 5 de marzo de 2025	miércoles, 12 de marzo de 2025	ACEPTADA	miércoles, 2 de abril de 2025
25045	RETIRO DE FALDONES Y CHUTE	CLIENTE L	MECANICA	SI	jueves, 13 de marzo de 2025	jueves, 20 de marzo de 2025	ACEPTADA	jueves, 10 de abril de 2025
25047	RUEDA DE MOLDEO	CLIENTE M	MECANICA	NO	martes, 18 de marzo de 2025	martes, 25 de marzo de 2025	ACEPTADA	martes, 15 de abril de 2025
25057	REPARACIÓN CHANCADOR PRIMARIO	CLIENTE N	MECANICA	SI	miércoles, 2 de abril de 2025	miércoles, 9 de abril de 2025	ACEPTADA	viernes, 2 de mayo de 2025
25059	PROCESOS	CLIENTE O	MECANICA	SI	lunes, 7 de abril de 2025	lunes, 14 de abril de 2025	ACEPTADA	miércoles, 7 de mayo de 2025
25067	SISTEMA DE TUBERIAS PARA DOCIFICACIÓN DE CIANURO	CLIENTE P	MECANICA	NO	jueves, 17 de abril de 2025	lunes, 28 de abril de 2025	ACEPTADA	martes, 20 de mayo de 2025
25068	REPARACIÓN SIS. DE TUBERIAS ESTANQUE 1 DE FLOTACIÓN	CLIENTE Q	MECANICA	NO	miércoles, 23 de abril de 2025	miércoles, 30 de abril de 2025	ACEPTADA	viernes, 23 de mayo de 2025
25071	MONT. PLATAFORMA CPS 2, 3 Y 4	CLIENTE R	M.C	SI	martes, 29 de abril de 2025	miércoles, 7 de mayo de 2025	ACEPTADA	jueves, 29 de mayo de 2025
25074	MONTAJE PLATAFORMAS CPS	CLIENTE S	M.C	SI	martes, 6 de mayo de 2025	martes, 13 de mayo de 2025	RECHAZADA	miércoles, 4 de junio de 2025
25076	MONTAJE SISTME IMPULSION DE AGUA	CLIENTE T	M.E	SI	viernes, 9 de mayo de 2025	viernes, 16 de mayo de 2025	ACEPTADA	lunes, 9 de junio de 2025
25077	REPARACIÓN CHANCADOR TERCIARIO	CLIENTE U	M.C	SI	martes, 13 de mayo de 2025	martes, 20 de mayo de 2025	ACEPTADA	miércoles, 11 de junio de 2025
25079	REPARACIÓN CHIMENEA PAC 1	CLIENTE V	MECANICA	SI	viernes, 16 de mayo de 2025	lunes, 26 de mayo de 2025	RECHAZADA	lunes, 16 de junio de 2025
25083	CAMBIO DE PANELES CPS 4 ETAPA III	CLIENTE W	MECANICA	SI	lunes, 26 de mayo de 2025	lunes, 2 de junio de 2025	ACEPTADA	martes, 24 de junio de 2025
25086	PARCHE REACTOR SONIC	CLIENTE X	CIVIL	NO	viernes, 30 de mayo de 2025	viernes, 6 de junio de 2025	ACEPTADA	lunes, 30 de junio de 2025
25087	CONS. ZANJA PERIMETRAL	CLIENTE Y	CIVIL	SI	martes, 3 de junio de 2025	martes, 10 de junio de 2025	ACEPTADA	miércoles, 2 de julio de 2025
25090	MONTAJE PASARELA PEATONAL	CLIENTE Z	CIVIL	SI	lunes, 9 de junio de 2025	lunes, 16 de junio de 2025	ACEPTADA	martes, 8 de julio de 2025
25092	PINTURA CHIMENEA	CLIENTE A	CIVIL	SI	jueves, 12 de junio de 2025	jueves, 19 de junio de 2025	ACEPTADA	viernes, 11 de julio de 2025
25093	REPARACIÓN MOLINO DE BOLA	CLIENTE B	MECANICA	SI	viernes, 13 de junio de 2025	lunes, 23 de junio de 2025	ACEPTADA	lunes, 14 de julio de 2025

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de estimar de manera más precisa el impacto temporal de los errores de diseño, se elabora un formulario de encuesta orientado a proyectistas y dibujantes de piping. El objetivo de este instrumento es que los participantes, a partir de su experiencia, identifiquen y valoren el tiempo que requieren las correcciones más habituales en modelos y planos de tuberías. La aplicación se realiza mediante un formulario en línea y se dirige a profesionales con distintos niveles de experiencia (junior, semi-senior y senior), de modo de incorporar percepciones diversas sobre el retrabajo asociado a los errores.

La encuesta presenta 15 situaciones de error frecuentes en el diseño de sistemas de tuberías, definidas a partir del análisis previo del plano y de la experiencia del área de diseño y desarrollo, las que pueden observarse en las ilustraciones 1.1, 1.2 y 1.3. Entre ellas se consideran, por ejemplo, falta de soporte, cotas erróneas, interferencias, diámetros incorrectos, elevaciones mal indicadas, clasificación de fluido equivocada y otras no conformidades típicas del proceso de modelación y emisión de planos. Para cada tipo de error, se solicita a los encuestados recordar y comprender cómo se manifiesta en la práctica y, sobre esa base, estimar el tiempo mínimo, intermedio y máximo necesario para corregirlo, todo esto expresado en minutos.

Previo a su aplicación, el formulario se revisa para asegurar que las descripciones de los errores sean claras y que todos los participantes interpreten de manera similar las situaciones planteadas. Una vez aplicada la encuesta, las respuestas se exportan a una hoja de cálculo, donde se calcula, para cada tipo de error, el tiempo promedio de retrabajo y el intervalo de variación asociado (mínimo-Intermedio y máximo). Estos resultados permiten analizar y comparar el peso relativo de cada error en términos de consumo de tiempo, y se utilizan posteriormente para apoyar la elaboración del diagrama de tendencias, diagrama de Pareto y la priorización de oportunidades de mejora en el proceso de diseño de planos de piping.



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

**FORMULARIO SOBRE EL LEVANTAMIENTO DE TIEMPOS DE CORRECCIÓN EN DISEÑO PIPING.**

**Formulario sobre el levantamiento de tiempos de corrección en diseño piping.**

**Objetivo del Estudio:**  
El presente instrumento tiene como finalidad levantar datos estadísticos expertos sobre el impacto en tiempo que generan los errores comunes en la etapa de planimetría y modelado de Piping.

**Instrucciones:**  
A continuación, se presentarán 15 situaciones de error frecuentes (ej. Interferencias, Cotas erróneas, Falta de soporte). Basado en su experiencia profesional utilizando software de diseño (AutoCAD, Inventor, Fusion, etc.) se solicita estimar el tiempo necesario para PROYECTAR la corrección (retrabajo digital) en tres escenarios:

1. **Tiempo Mínimo:** Corrección simple, sin complicaciones.
2. **Tiempo Intermedio:** Corrección estándar habitual.
3. **Tiempo Máximo:** Corrección compleja que afecta a otros elementos.

**Considerar:** las respuestas deben ser en el siguiente formato 00 (min.) / 00 (int.) / 00 (max.)

**Confidencialidad:**  
La información recopilada, incluyendo edad y nivel de experiencia, será utilizada exclusivamente para fines de análisis de mejora de procesos y estandarización de tiempos de ingeniería.

Agradecemos su colaboración experta para cuantificar y mejorar nuestra eficiencia de diseño.

¿Qué edad tienes? \*

Tu respuesta:

¿Cuál es el género que te representa? \*

Mujer

Hombre

No binario/ Género fluido

Prefiero no decirlo.

¿Cuál es tu grado de experiencia? \*

Proyectista/dibujante Junior (0 a 2 años de experiencia)

Proyectista/dibujante Semi-Senior (2 a 5 años de experiencia)

Proyectista/dibujante Senior (> 6 años de experiencia)

**PREGUNTA 1** \*

Si se detecta la FALTA DE UN SOPORTE en el modelo 3D/plano, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) requeriría para PROYECTAR el soporte, definir sus características y actualizar la documentación mínimo, intermedio y máximo?

Tu respuesta:

**PREGUNTA 2** \*

¿Cuál es el rango de tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo que genera corregir una COTA ERRÓNEA que obliga a PROYECTAR de nuevo la geometría de la línea y regenerar sus isométricos?

Tu respuesta:

**PREGUNTA 3** \*

Si una INTERFERENCIA obliga a un cambio de ruta, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) se estima mínimo, intermedio y máximo para PROYECTAR la nueva ruta en el software y actualizar los planos afectados?

Tu respuesta:

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 1.1 Formulario sobre el levantamiento de información [1]

## FORMULARIO SOBRE EL LEVANTAMIENTO DE TIEMPOS DE CORRECCIÓN EN DISEÑO PIPING.

<p><b>PREGUNTA 4</b> Si se cambia un <b>DIÁMETRO ERRÓNEO</b>, ¿cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo para <b>PROYECTAR</b> la modificación del diámetro, asegurar la conectividad y regenerar las listas de materiales?</p> <p>Tu respuesta _____</p>	<p><b>PREGUNTA 7</b> Si se omite un <b>FITTING</b>, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo genera la modificación para <b>PROYECTAR</b> la inserción del componente y actualizar la documentación asociada?</p> <p>Tu respuesta _____</p>	<p><b>PREGUNTA 10</b> Si se identifica que faltan <b>ISOMÉTRICOS</b> para explicar explícitamente la ruta, funcionalidad y detalles dentro del plano, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo se necesita para <b>PROYECTAR</b> la generación de estos?</p> <p>Tu respuesta _____</p>
<p><b>PREGUNTA 5</b> Un plano omite la <b>FALTA DE MATERIALIDAD</b> (especificación). ¿Cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo se necesita para <b>PROYECTAR</b> la actualización de la base de datos y la propagación de la nueva especificación?</p> <p>Tu respuesta _____</p>	<p><b>PREGUNTA 8</b> Un <b>SENTIDO DE FLUJO MAL O NO INDICADO</b> obliga a actualizar la orientación. ¿Cuál es el rango de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo para <b>PROYECTAR</b> la corrección de la orientación de un componente direccional en el plano?</p> <p>Tu respuesta _____</p>	<p><b>PREGUNTA 11</b> La corrección de <b>RADIOS DE CURVATURA FUERA DE NORMA</b>, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo implica para <b>PROYECTAR</b> el reajuste de las geometrías de las curvas o reemplazo de fittings en el software?</p> <p>Tu respuesta _____</p>
<p><b>PREGUNTA 6</b> ¿Cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo necesario para <b>PROYECTAR</b> la adición de un punto de <b>DRENAJE FALTANTE</b> en el modelo 3D y asegurar la correcta representación en los documentos?</p> <p>Tu respuesta _____</p>	<p><b>PREGUNTA 9</b> ¿Cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo se invierte en <b>PROYECTAR</b> la corrección del <b>TAG DE LÍNEA MAL O NO INDICADO</b> en el plano, asegurando la propagación a todos los dibujos y reportes?</p> <p>Tu respuesta _____</p>	<p><b>PREGUNTA 12</b> ¿Cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo para <b>PROYECTAR</b> la adición de todos los <b>DRENES Y VENTOS FALTANTES</b> en el plano y recalcular la lista de materiales?</p> <p>Tu respuesta _____</p>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 1.2 Formulario sobre el levantamiento [1] (continuación...)

## FORMULARIO SOBRE EL LEVANTAMIENTO DE TIEMPOS DE CORRECCIÓN EN DISEÑO PIPING.

<p><b>PREGUNTA 13</b> Si las <b>ELEVACIONES ESTÁN MAL INDICADAS</b>, ¿cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo incurrido para <b>PROYECTAR</b> el movimiento de la línea en el plano y actualizar automáticamente todas las vistas y etiquetas?</p> <p>Tu respuesta _____</p>
<p><b>PREGUNTA 14</b> Un error en la <b>TABLA CUBICACIÓN DE MATERIALES</b>, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo le consume?</p> <p>Tu respuesta _____</p>
<p><b>PREGUNTA 15</b> La <b>CLASIFICACIÓN DE FLUIDO ERRADA</b> obliga a cambiar la clase de tubería. ¿Cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo implica <b>PROYECTAR</b> esta actualización masiva de componentes en el modelo y verificar la consistencia?</p> <p>Tu respuesta _____</p>

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 1.3 Formulario sobre el levantamiento [1] (continuación...)



Las respuestas del formulario fueron exportadas a Excel y organizadas en una hoja específica denominada “ENCUESTA” (ver ilustración 1.4), manteniendo para cada encuestado su edad, género, años de experiencia y los tiempos declarados para cada error. Esta información se utiliza posteriormente para calcular tiempos promedio de trabajo por tipo de error y alimentar los indicadores de desempeño del proceso de planos y modelación 3D.

RESPUESTAS	EDAD	GÉNERO	EXPERIENCIA	PROGRAMA	Formulario sobre el levantamiento de tiempos de corrección en diseño plano																						
					RESPUESTA 1	RESPUESTA 2	RESPUESTA 3	RESPUESTA 4	RESPUESTA 5	RESPUESTA 6	RESPUESTA 7	RESPUESTA 8	RESPUESTA 9	10	11	12	13	14	15								
					MIN	INT	MAX	MIN	INT	MAX	MIN	INT	MAX	MIN	INT	MAX	MIN	INT	MAX	MIN	INT	MAX	MIN	INT	MAX		
ENCUESTADO 20	HOMBRE	JUNIOR	AUTOCAD	10	25	45	10	25	30	15	25	30	15	25	35	15	25	30	15	25	30	15	25	30	15	25	
ENCUESTADO 27	HOMBRE	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	5	15	25	12	18	25	10	15	25	10	20	30	13	24	45	15	25	35	2	7	15	1	5	
ENCUESTADO 28	HOMBRE	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	7	10	15	10	20	30	10	20	30	15	40	55	10	20	30	1	5	10	2	9	10	5	9	
ENCUESTADO 38	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	3	5	15	10	22	30	10	20	30	12	22	30	8	15	24	10	22	30	2	7	15	3	7	
ENCUESTADO 39	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	5	10	15	5	20	25	12	20	28	12	20	28	18	28	30	18	30	2	8	3	5	10	15	5
ENCUESTADO 35	MUJER	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	6	10	15	12	20	27	8	18	28	13	22	45	8	16	24	10	20	30	1	5	10	2	8	
ENCUESTADO 44	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	4	7	17	12	20	28	10	15	20	12	22	30	12	21	29	12	20	30	1	7	14	5	10	
ENCUESTADO 21	HOMBRE	JUNIOR	AUTOCAD	15	25	45	25	35	55	25	35	45	30	38	50	45	55	38	28	38	5	14	20	6	12	18	
ENCUESTADO 20	HOMBRE	JUNIOR	AUTOCAD	30	45	55	10	40	55	20	40	60	35	10	20	30	25	45	55	7	15	20	7	10	15	18	
ENCUESTADO 25	MUJER	JUNIOR	AUTOCAD	25	35	55	13	21	35	25	45	55	15	25	45	15	25	30	10	20	30	3	12	18	3	6	
ENCUESTADO 32	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	2	6	15	10	22	32	10	20	30	10	22	32	15	20	30	10	20	35	2	8	10	5	10	
ENCUESTADO 38	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	3	8	14	12	20	28	12	20	30	15	25	7	10	25	20	25	45	3	7	14	2	6	12	
ENCUESTADO 27	MUJER	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	2	10	18	13	22	45	13	22	45	13	25	20	12	20	22	20	27	2	5	12	1	5	7	
ENCUESTADO 19	HOMBRE	JUNIOR	AUTOCAD	18	28	38	10	20	30	10	20	30	25	45	15	25	30	25	45	55	7	14	5	10	15	20	
ENCUESTADO 29	HOMBRE	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	10	15	25	12	21	28	14	21	28	12	18	25	10	15	2	25	45	2	7	10	4	8	16	
ENCUESTADO 35	HOMBRE	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	3	8	17	13	25	38	15	20	30	10	20	30	3	9	15	10	22	45	2	8	10	1	5	
ENCUESTADO 41	MUJER	SENIOR	AUTOCAD	5	10	15	15	20	38	15	20	38	12	20	28	25	45	55	12	22	38	5	10	14	2	5	
ENCUESTADO 45	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	2	6	18	10	15	25	10	20	30	15	20	30	10	15	4	8	12	10	15	25	2	8	12	
ENCUESTADO 36	HOMBRE	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	1	8	14	15	20	38	5	18	15	27	47	35	8	14	8	18	28	2	6	10	1	4	8	
ENCUESTADO 22	HOMBRE	JUNIOR	AUTOCAD	30	35	55	20	35	45	55	65	25	35	55	13	22	45	25	55	65	14	20	7	12	16	8	
ENCUESTADO 20	HOMBRE	JUNIOR	AUTOCAD	20	28	45	15	25	30	45	65	10	25	33	10	40	55	15	25	45	7	10	15	20	5	10	
ENCUESTADO 33	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	4	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	
ENCUESTADO 40	HOMBRE	JUNIOR	AUTOCAD	3	5	14	7	18	25	10	22	30	10	25	45	5	25	35	12	20	30	10	12	18	3	8	
ENCUESTADO 32	MUJER	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	7	20	30	10	20	30	10	20	30	15	35	42	7	10	25	17	47	1	5	10	2	7	12	
ENCUESTADO 45	HOMBRE	SEMI-SENIOR	AUTOCAD	5	10	15	8	25	30	8	20	27	15	20	30	5	15	25	8	25	10	16	3	9	15	3	
ENCUESTADO 46	HOMBRE	SENIOR	AUTOCAD	2	7	18	10	25	45	12	23	38	7	18	25	18	30	23	45	2	4	8	3	8	13	5	
				63	168	260	120	240	348	143	243	348	133	247	353	123	243	343	124	262	363	41	85	127	83	119	
				RESPUESTA 1	RESPUESTA 2	RESPUESTA 3	RESPUESTA 4	RESPUESTA 5	RESPUESTA 6	RESPUESTA 7	RESPUESTA 8	RESPUESTA 9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	

Fuente: elaboración propia.

Ilustración 1.4 Datos de formulario en Excel.

En resumen, la base de datos del proyecto combina datos operacionales reales para el departamento de diseño y desarrollo (planilla de licitaciones y controles de plano) con datos de percepción experta obtenidos mediante la encuesta. Esta combinación permite caracterizar tanto la frecuencia de tiempo en los errores como el tiempo que implica corregirlos, lo que sirve de fundamento para el análisis estadístico y la propuesta de mejora que se desarrolla en los capítulos siguientes.

### 1.2.2 Proceso de depuración y preparación de datos

Al recopilar la información proveniente de los registros internos y de la encuesta aplicada a proyectistas, se realiza un proceso de depuración y preparación de datos previo a su utilización en el análisis estadístico. El objetivo de esta etapa es disponer de una base de datos consistente, comparable y alineada con el alcance del trabajo de título. En primer lugar, se filtran las licitaciones registradas en la planilla general, manteniendo únicamente aquellas asociadas al departamento de diseño y desarrollo. Se eliminan los registros pertenecientes a otras áreas, los proyectos incompletos y las licitaciones que no cuentan con la información mínima requerida. De esta forma, se evita introducir sesgos derivados de datos parcialmente registrados.

Dando ya finalizada la etapa de depuración de información en las licitaciones se tiene como resultado: licitaciones con datos explícitos sobre el inicio y termino del proceso.

En el caso de las encuestas, el análisis se inicia con la recopilación de las 52 respuestas obtenidas, las cuales se traspasan a una planilla de Excel, manteniendo la estructura original del cuestionario. A partir de esta base, se lleva a cabo un proceso de depuración con el objetivo de trabajar solo con información coherente y útil para el estudio.

En una primera etapa, se identifican y eliminan las respuestas incompletas, es decir, aquellos registros en los que la persona encuestada no finaliza el cuestionario o deja sin responder la mayoría de las preguntas consideradas clave, conservando únicamente las respuestas completas en cada caso. Como resultado de este filtro inicial, se obtiene un conjunto de 27 encuestas válidas, que constituye la base de datos utilizada en los análisis posteriores.

Luego, se realiza una revisión de consistencia de los datos, en la cual se corrigen o eliminan las respuestas que presentan valores fuera de rango (por ejemplo, valores iguales a 0, números negativos y/o decimales) o que no corresponden a las opciones entregadas. Finalmente, la lista de 27 datos es utilizada en los análisis estadísticos y gráficos presentados en los siguientes capítulos.

### **1.3 Herramientas para sustentar el proceso de calidad**

Este trabajo aplica los principios de gestión de la calidad al proceso de diseño y modelación de piping, utilizando herramientas de análisis de procesos y estadísticas en Excel para cuantificar el retrabajo asociado a los planos. En particular, se compara el plano inicialmente emitido con el plano finalmente entregado al mandante en la licitación, con el fin de evaluar el impacto de dicho retrabajo en los plazos de ejecución y sustentar propuestas de mejora basadas en datos.

#### **1.3.1 Análisis general de departamento, diseño y desarrollo en Z&S MAESTRANZA**

Para realizar el control de calidad dentro del departamento de diseño y desarrollo, se lleva a cabo un análisis general del área, con la finalidad de comprender, a grandes rasgos, cómo funciona, reconocer su alcance y sus límites respecto de las licitaciones técnicas, y establecer una base para la posterior estandarización y análisis de los procesos.

##### **1.3.1.1 SIPOC**

El SIPOC es una herramienta que se utiliza para describir de forma resumida un proceso y su contexto. Su nombre corresponde a las siglas de:

- Proveedor
- Entrada
- Proceso
- Salida
- Cliente

Lo cual, a través de una tabla, se identifican los proveedores del proceso, las entradas que entregan, las principales actividades del proceso, los resultados que se generan y los clientes que reciben dichas salidas. Esto permite aclarar el alcance del proceso y que las distintas áreas involucradas compartan una misma visión de cómo funciona.

Esta herramienta se complementa con el enfoque de las 6M:

- Método
- Mano de obra
- Maquinaria
- Materiales
- Medio ambiente
- Medición

Mientras el SIPOC ayuda a ordenar “qué entra, qué se hace y qué sale” del proceso, los 6M permiten analizar, dentro de cada etapa, los factores que pueden influir en la calidad y en la aparición de problemas. Por ejemplo, el método y la mano de obra se relacionan con la forma en que se ejecutan las actividades del proceso; la maquinaria y los materiales se vinculan con las entradas; el medio ambiente afecta las condiciones en que se realiza el trabajo; y la medición se asocia al control de las salidas y a la información que reciben los clientes. De esta manera, la combinación de SIPOC y 6M entrega una visión estructurada del proceso y un marco de apoyo para identificar causas de retrabajo, variabilidad y oportunidades de mejora.

Se sugiere cambiar por:

Se realiza un análisis tipo SIPOC en el presente departamento, el cual se puede observar en la tabla 1.3, donde se estima las 6M en como de desarrollan en cada uno de los roles.

Tabla 1.3 Análisis SIPOC departamento de Diseño y Desarrollo

TIPO	CATEGORÍA/ ÍTEM	ROL 1	ROL 2	ROL 3
Entradas	Mano de obras	Describir el rol y responsabilidades generales de este cargo dentro del proceso.	Describir el perfil y funciones técnicas principales asociadas a este cargo.	Describir las tareas de apoyo, modelación o dibujo que realiza este cargo.
	Material	Indicar qué documentos o insumos utiliza este cargo para planificar/gestionar.	Indicar qué documentos, planos o especificaciones utiliza este cargo para diseñar.	Indicar qué plantillas, planos base o archivos usa este cargo para modelar/dibujar.
	Método	Señalar qué métodos o procedimientos aplica este cargo para organizar y controlar el trabajo.	Señalar qué procedimientos técnicos sigue este cargo para desarrollar la ingeniería.	Señalar qué instrucciones de trabajo sigue este cargo para ejecutar las tareas asignadas.
	Medición	Indicar qué indicadores o controles gestiona este cargo (avance, cumplimiento, etc.).	Indicar qué revisiones o mediciones de calidad realiza este cargo sobre el trabajo técnico.	Indicar qué registros genera este cargo (horas, número de planos/modelos, versiones, etc.).
	Medio ambiente	Describir las herramientas, sistemas y entorno de trabajo que necesita este cargo para gestionar.	Describir el equipamiento y software que requiere este cargo para desarrollar su trabajo técnico.	Describir el puesto, herramientas y elementos de apoyo que utiliza este cargo en su trabajo diario.
	Maquinaria	Describir qué área o actor proporciona la maquinaria o equipamiento necesario para el proceso (compras, gestión, coordinación, etc.).	Indicar qué tipo de maquinaria o equipamiento utiliza este cargo para planificar, coordinar y controlar el trabajo (estación de trabajo, notebook, equipos de apoyo, etc.).	Indicar qué maquinaria o equipamiento utiliza este cargo para ejecutar las tareas operativas de modelación y dibujo (PC de diseño, monitores, periféricos, herramientas de apoyo, etc.).
OTROS	Tipo de entrada (N, C, S, X)	X	X	C
	Cantidad	Indicar número de personas en este cargo o dedicación requerida.	Indicar número de personas en este cargo o dedicación requerida.	Indicar número de personas en este cargo o dedicación requerida.
	Requerimientos de las entradas	Indicar requisitos mínimos para que este cargo pueda desempeñar su función (competencias, experiencia, etc.).	Indicar requisitos técnicos mínimos (años de experiencia, dominio de herramientas, conocimientos específicos, etc.).	Indicar requisitos básicos (manejo de software, precisión, comprensión de instrucciones, etc.).
	PROCESO	Describir las actividades clave que realiza este cargo dentro del flujo del proceso.	Describir las actividades técnicas principales que ejecuta este cargo dentro del proceso.	Describir las actividades operativas de modelación/dibujo que ejecuta este cargo dentro del proceso.
	SALIDAS	Indicar qué salidas genera este cargo (documentos, decisiones, coordinaciones, etc.).	Indicar qué salidas técnicas genera este cargo (modelos, planos, listados, etc.).	Indicar qué salidas concretas genera este cargo (planos detallados, archivos actualizados, etc.).
	Requerimientos de las salidas	Indicar criterios de calidad y cumplimiento que deben cumplir las salidas de este cargo.	Indicar criterios de calidad técnica que deben cumplir las salidas de este cargo.	Indicar criterios de claridad, legibilidad y formato que deben cumplir las salidas de este cargo.
	Cliente interno y externo	Identificar qué áreas/personas usan o reciben las salidas de este cargo como clientes internos/externos.	Identificar qué áreas/personas usan las salidas de este cargo dentro y fuera de la organización.	Identificar quién utiliza los planos/modelos generados por este cargo como cliente interno y externo.

Fuente: Elaboración propia

Las indicaciones en “tipo de entrada” se refiere a:

- Entradas de Ruido (N): Son entradas difíciles o imposibles de controlar, por ejemplo, en Medio ambiente son la humedad y temperatura.
- Entradas Controlables (C): Son aquellas que se pueden cambiar para ver los efectos en las variables de salida, a veces llamadas variables de “perilla”
- Operación estándar (S): Un procedimiento estándar para correr con el proceso.
- Entradas Críticas (X): Son aquellas que estadísticamente se ha mostrado que tienen un impacto sobre las variables de salida.

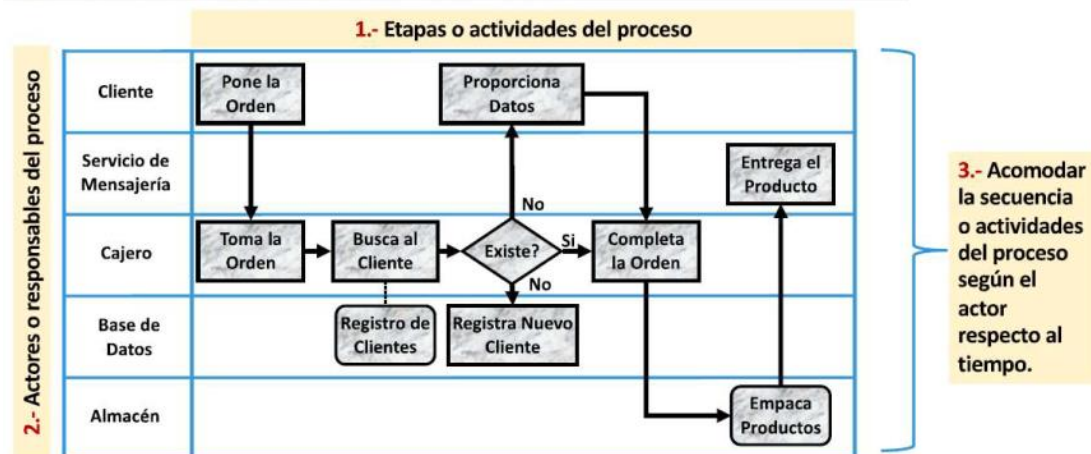
Ya teniendo en cuenta estos conceptos se puede evaluar de mejor manera el departamento y cuál es la situación actual al momento de realizar el análisis estadístico.

### 1.3.1.2 Mapa de proceso cruzado

Para el presente análisis es necesario elaborar un cross functional map o mapa de proceso cruzado por funciones (ver ilustración 1.5) esto es para ilustrar la información sobre la modelación de procesos permite representar, en una sola vista, las actividades de trabajo asociadas a los distintos roles del departamento de diseño y desarrollo. De este modo, se describen las funciones que intervienen en la recepción y entrega de información de las licitaciones y la forma en que dicha información ingresa al departamento.

El mapa no solo muestra la secuencia de tareas, sino también las transferencias de responsabilidad, los puntos de coordinación y los posibles espacios de retrabajo o duplicidad. Estas características lo convierten en un instrumento especialmente útil para estudios de mejora de procesos, ya que facilita identificar con claridad quién realiza cada actividad, en qué momento y con qué información. [3]

## Ejemplo de Cross – Funcional Map



Fuente: Asignatura ISO9000 - Profesor Cristián Sánchez

Ilustración 1.5 Mapa de procesos ejemplo

### 1.3.2 Herramientas de análisis de procesos

Las herramientas de procesos permiten describir, visualizar y gestionar la secuencia de actividades involucradas en la elaboración de planos y modelación 3D. Entre ellas se encuentran los diagramas de procesos, que representan gráficamente las etapas desde la recepción de la información de entrada hasta la emisión final de la documentación al cliente. Estas representaciones facilitan la identificación de cuellos de botella, actividades críticas, puntos de control y posibles fuentes de error dentro del flujo de trabajo.

#### 1.3.2.1 Ciclo de resolución de problemas PHVA

El ciclo PHVA es el “ciclo de la calidad” que presentan Gutiérrez Pulido y de la Vara como una forma ordenada de llevar a cabo proyectos de mejora continua. Consta de cuatro etapas: Planear, Hacer, Verificar y Actuar, y se utiliza para estructurar, ejecutar y mantener mejoras en la calidad y la productividad de cualquier proceso. Es una aplicación práctica del método científico al trabajo diario: primero se piensa y diseña la solución, luego se prueba, se analizan los resultados y finalmente se corrige o estandariza lo aprendido.

En la fase Planear, se define con claridad el problema, se analizan sus causas, se fijan objetivos cuantificables y se diseña un plan de acción. En Hacer, ese plan se aplica normalmente a pequeña escala o durante un periodo controlado, siguiendo exactamente lo que se había definido y registrando datos del proceso. En Verificar, se comparan los resultados obtenidos con las metas planeadas, usando herramientas estadísticas cuando es necesario, para ver si las acciones dieron el efecto esperado y en qué magnitud.

Por último, en Actuar, si los resultados son buenos, se estandariza la nueva forma de trabajar (procedimientos, instructivos, capacitación) para que la mejora se mantenga; si no se lograron las metas, se ajusta el plan y se inicia de nuevo el ciclo. Así, el PHVA no es algo que se hace una sola vez, sino un ciclo que se repite continuamente y que sirve de base a muchas metodologías de calidad y Seis Sigma para mejorar procesos en cualquier nivel de la organización.

Etapa	Paso	Nombre y breve descripción del paso
Planear	1	<b>Seleccionar y caracterizar un problema:</b> elegir un problema realmente importante, delimitarlo y describirlo, estudiar antecedente e importancia, y cuantificar su magnitud actual.
	2	<b>Buscar todas las posibles causas:</b> lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa. Participan los involucrados.
	3	<b>Investigar cuáles de las causas son más importantes:</b> recurrir a datos, análisis y conocimiento del problema.
	4	<b>Elaborar un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes:</b> para cada acción, detallar en qué consiste, su objetivo y cómo implementarla; responsables, fechas y costos.
Hacer	5	<b>Ejecutar las medidas remedio:</b> seguir el plan y empezar a pequeña escala.
Verificar	6	<b>Revisar los resultados obtenidos:</b> comparar el problema antes y después.
Actuar	7	<b>Prevenir la recurrencia:</b> si las acciones dieron resultado, éstas deben generalizarse y estandarizar su aplicación. Establecer medidas para evitar recurrencia.
	8	<b>Conclusión y evaluación de lo hecho:</b> evaluar todo lo hecho anteriormente y documentarlo.

FUENTE: 4. Control estadístico de la calidad y seis sigma - Humberto Gutiérrez Pulido - Román de la Vara Salazar (tercera edición)

Ilustración 1.6 8 pasos para la solución de un problema [4]

### 1.3.2.2 Diagrama de causa – efecto

El diagrama de causa-efecto (o diagrama de Ishikawa) es un método gráfico utilizado para relacionar un problema o efecto con los factores que posiblemente lo generan. Su objetivo principal es facilitar la identificación sistemática de causas, evitando saltar directamente a soluciones sin haber comprendido primero qué origina realmente el problema. Al organizar visualmente las posibles causas, el diagrama favorece la reflexión crítica, la discusión en equipo y la búsqueda de explicaciones más profundas que las meramente intuitivas.

En su estructura clásica, el diagrama de Ishikawa se apoya en las denominadas 6M: Mano de obra, Máquina, Método, Material, Medio ambiente y Medición. Estas categorías constituyen el primer nivel del diagrama y funcionan como grandes grupos de clasificación de causas. La Mano de obra se asocia a factores humanos (experiencia, capacitación, carga de trabajo); la Máquina a equipos, herramientas y software; el Método a procedimientos, instrucciones y formas de trabajo; el Material a la calidad de insumos e información de entrada; el Medio ambiente a condiciones físicas y organizacionales; y la Medición a los sistemas de control, indicadores y retroalimentación existentes.

Sobre este primer nivel se desarrolla habitualmente un segundo nivel de detalle, en el que se desglosan causas más específicas dentro de cada una de las 6M. De este modo, el diagrama pasa de categorías generales a factores concretos, como fallas en la capacitación, equipos obsoletos, instrucciones ambiguas, datos incompletos, plazos excesivamente ajustados o ausencia de análisis sistemático de errores, entre otros. Este segundo nivel permite transformar el diagrama de Ishikawa en una verdadera “hoja de ruta” para el análisis de problemas, ya que entrega una visión estructurada de las causas potenciales y sirve de base para priorizar verificaciones con datos, seleccionar acciones de mejora y dar seguimiento a los resultados dentro de los enfoques de calidad y mejora continua.

### 1.3.3 Herramientas de control de calidad estadístico

Las herramientas estadísticas se utilizan para analizar los datos obtenidos del proceso de diseño y retrabajo, transformándolos en información útil para la toma de decisiones. A nivel descriptivo, se emplean medidas como el promedio, la desviación estándar y la varianza para cuantificar el comportamiento de variables tales como tiempos de ejecución, tiempos de corrección y cantidad de errores por plano. Estas medidas permiten comparar el desempeño entre diferentes versiones de un mismo plano.

#### 1.3.3.1 Diagrama de Pareto

Diagrama de Pareto, un tipo de gráfico de barras, aplicado principalmente a datos categóricos, que ordena las categorías de mayor a menor frecuencia o impacto. Su objetivo es ayudar a identificar los problemas “vitales” y sus causas principales, de manera que los esfuerzos de mejora no se dispersen en todas las causas al mismo tiempo. En lugar de “atacar todo a la vez”, el diagrama permite establecer prioridades con apoyo de datos, enfocando los recursos donde es más probable obtener un mayor beneficio para el proceso o la organización.

La utilidad del diagrama se respalda en el llamado principio de Pareto, también conocido como “ley 80–20”, según el cual un porcentaje pequeño de elementos genera la mayor parte del efecto total, mientras que el resto de los elementos contribuye sólo de forma marginal. De manera

aproximada, se plantea que alrededor de un 20% de las causas puede explicar cerca del 80% de los efectos. Este principio toma su nombre del economista italiano Vilfredo Pareto (1843–1923), quien observó distribuciones desiguales en distintos fenómenos económicos y sociales, idea que posteriormente se adaptó al ámbito de la calidad y la mejora de procesos.

### 1.3.3.2 CARTA I-MR

De acuerdo con Gutiérrez Pulido y de la Vara, las cartas de control para variables tienen como propósito monitorear la estabilidad de un proceso a través del tiempo, distinguiendo la variación debida a causas comunes de aquella originada por causas especiales que requieren acción correctiva. Dentro de este grupo se encuentran las cartas de valores individuales y rango móvil (I–MR), recomendadas cuando el tamaño de subgrupo es uno o cuando no es posible formar subgrupos racionales de mayor tamaño.

La carta I (individuales) representa en el eje horizontal la secuencia temporal de observaciones y, en el eje vertical, el valor individual de la característica de calidad  $X_i$  medida en cada instante. La línea central corresponde a la media de los valores individuales  $\bar{X}$ , que se interpreta como el nivel promedio del proceso. Los límites de control superior e inferior se calculan a partir de una estimación de la desviación estándar del proceso; cuando solo se dispone de observaciones individuales, esta desviación se aproxima mediante el promedio del rango móvil entre pares consecutivos de datos  $\overline{MR}$ . En la práctica, Gutiérrez y de la Vara indican que los límites se obtienen con expresiones del tipo

$$UCL_I = \bar{X} + k \overline{MR}, \quad LCL_I = \bar{X} - k \overline{MR},$$

*Ilustración 1.7 Fórmulas UCL y LCL*

La carta MR (rango móvil) se construye con los rangos entre observaciones consecutivas  $MR_i = |X_i - X_{i-1}|$ , que permiten estimar la variabilidad a corto plazo del proceso. La línea central de esta carta es el promedio de los rangos móviles  $\overline{MR}$ . El límite de control superior se fija como un múltiplo de dicho promedio, mientras que el límite de control inferior se toma igual a cero, ya que un rango negativo carece de interpretación física. Estas dos cartas se utilizan en forma conjunta: la carta I detecta cambios en el nivel medio del proceso y la carta MR identifica incrementos anómalos en la variabilidad.

En síntesis, las cartas I–MR permiten vigilar la estabilidad de procesos donde se observa una sola unidad en cada punto en el tiempo, manteniendo la lógica general de las cartas de Shewhart apoyada en los principios de la distribución normal y en límites de control a tres desviaciones estándar.

## 2. CAPÍTULO 2: “PROCEDIMIENTOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS”

En el presente caso se dispone de un único plano con tres versiones sucesivas: revisiones A, B y C. Esta condición entrega una base de datos limitada para la construcción formal de cartas de control, pero permite analizar con detalle los errores detectados en cada revisión y el tiempo de retrabajo asociado a su corrección. Como resultado de este análisis, la carta de control tipo c se mantiene en este trabajo como herramienta propuesta para un sistema futuro de control estadístico del proceso de diseño; en cambio, el estudio cuantitativo se centra en el tiempo de retrabajo por error y en la priorización de causas mediante el diagrama de Pareto.

### 2.1 Procedimientos realizados

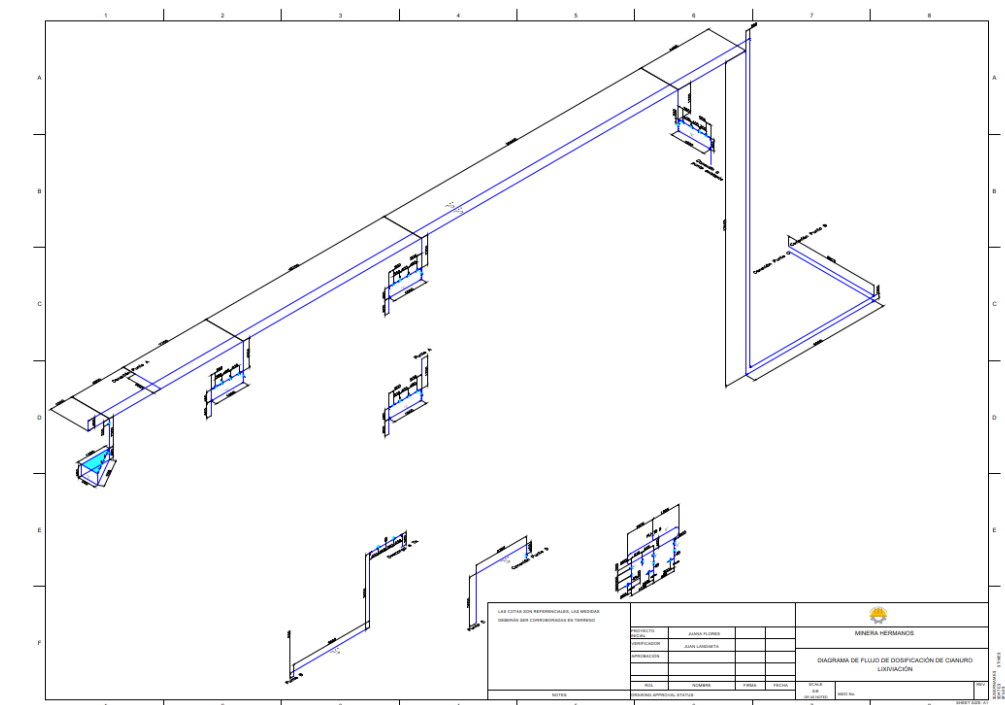
#### 2.1.1.Revisión de datos en Excel.

El primer paso consistió en revisar y organizar la información disponible en la planilla Excel asociada al plano en estudio. En dicha planilla se registraron, para cada error identificado, datos de retrabajo en minutos como: código o descripción del error, tipo de error, revisión en la que fue detectado (A o B), responsable de la corrección y tiempo estimado de retrabajo.

#### 2.1.1.1 Presentación del plano

Para el desarrollo del presente trabajo de título se considera como caso de estudio el plano en cuestión, perteneciente a la empresa S&Z Maestranza y codificado como PL-25067-ZS-PP-REVA. Este documento técnico corresponde al diseño conceptual de un sistema de piping asociada a la licitación 25067 y es elaborado por el Cliente P. El plano se duplica en el departamento de diseño y desarrollo con el fin de que este quede registrado como entrada de información, al cual se le otorga igualmente una codificación. Este se utiliza como referencia principal porque permite observar de manera directa la forma en que se gestiona actualmente la información de diseño, así como el nivel de detalle, coherencia y revisión con que se emiten los documentos hacia el cliente.

Durante la revisión de este plano se identifica una cantidad considerable de errores, entendidos en este contexto como fuentes de retrabajo, ya que obligan a realizar correcciones posteriores y generan retrasos en la emisión de la base técnica de la licitación. La presencia de estos errores refleja, entre otros factores, la reducción en el tiempo de trabajo destinado a la elaboración y verificación del plano, lo que impacta tanto en la calidad del producto de diseño como en el cumplimiento de plazos comprometidos. En consecuencia, este plano se convierte en un insumo clave para evidenciar la problemática actual y justificar la necesidad de aplicar herramientas de control de calidad y mejora continua en el proceso de diseño y desarrollo.



Fuente: Base técnica de licitación 25067

Ilustración 2.1 Plano PL-25067-ZS-PP-REVA

En la Ilustración 2.2 Plano PL-25067-ZS-PP-REVA se presenta el plano del sistema de tuberías dividido en seis tramos principales, identificados mediante un código de colores y numeración secuencial. Esta segmentación no es arbitraria, sino que responde a la necesidad de ordenar el análisis del caso de estudio, delimitando porciones del trazado que sean manejables y comparables entre sí. Cada tramo corresponde a un segmento continuo de la línea de conducción, con su propio conjunto, lo que permite observar de manera más clara cómo se distribuyen los errores a lo largo del recorrido de la tubería.

Sobre el mismo plano se incorporan anotaciones y marcas en distintos colores que señalan ejemplos representativos de los errores detectados: omisiones en la información técnica, discrepancias entre el trazado y los detalles, problemas de especificación de materiales, ausencia o mala disposición de soportes, entre otros. De esta forma, la imagen no solo ilustra la división en tramos, sino que también evidencia visualmente que las no conformidades se presentan en varios puntos del sistema y no están concentradas en una única zona. Esta representación gráfica refuerza la justificación metodológica del estudio, ya que permite relacionar cada tramo con tipos de error específicos, facilita la posterior cuantificación de retrabajos y sirve como soporte visual para la discusión de resultados y propuestas de mejora en el proceso de diseño y revisión de piping.



estudio, se alinea con buenas prácticas de ingeniería y calidad, y proporciona una base argumental sólida para las propuestas de mejora desarrolladas en el trabajo de título.

Tabla 2.1 Formulario sobre levantamientos de tiempo en corrección

<b>Formulario sobre el levantamiento de tiempos de corrección en diseño piping.</b>		
<b>PREGUNTAS INICIALES</b>		<b>PREGUNTAS</b>
1		¿Qué edad tienes?
2		¿Cuál es el género que te representa?
3		¿Cuál es tu grado de experiencia?
4		¿Cuál programa Utilizas para hacer solo planos?
<b>N° PREGUNTA</b>	<b>LETRA DE ERROR</b>	<b>PREGUNTAS</b>
1	A	Si se detecta la FALTA DE UN SOPORTE en el modelo 3D/plano, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) requeriría para PROYECTAR el soporte, definir sus características y actualizar la documentación mínimo, intermedio y máximo?
2	B	¿Cuál es el rango de tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo que genera corregir una COTA ERRÓNEA que obliga a PROYECTAR de nuevo la geometría de la línea y regenerar sus isométricos?
3	C	Si una INTERFERENCIA obliga a un cambio de ruta, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) se estima mínimo, intermedio y máximo para PROYECTAR la nueva ruta en el software y actualizar los planos afectados?
4	D	Si se cambia un DIÁMETRO ERRÓNEO, ¿cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo para PROYECTAR la modificación del diámetro, asegurar la conectividad y regenerar las listas de materiales?
5	E	Un plano omite la FALTA DE MATERIALIDAD (especificación). ¿Cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo se necesita para PROYECTAR la actualización de la base de datos y la propagación de la nueva especificación?
6	F	¿Cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo necesario para PROYECTAR la adición de un punto de DRENAJE FALTANTE en el plano y asegurar la correcta representación en los documentos?
7	G	Si se omite un FITTING, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo genera la modificación para PROYECTAR la inserción del componente y actualizar la documentación asociada?
8	H	Un SENTIDO DE FLUJO MAL O NO INDICADO obliga a actualizar la orientación. ¿Cuál es el rango de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo para PROYECTAR la corrección de la orientación de un componente direccional en el plano?
9	I	¿Cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo se invierte en PROYECTAR la corrección del TAG DE LÍNEA MAL O NO INDICADO en el plano, asegurando la propagación a todos los dibujos y reportes?
10	J	Si se identifica que faltan ISOMÉTRICOS para explicar explícitamente la ruta, funcionalidad y detalles dentro del plano, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo se necesita para PROYECTAR la generación de estos?
11	K	La corrección de RADIOS DE CURVATURA FUERA DE NORMA, ¿cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo implica para PROYECTAR el reajuste de las geometrías de las curvas o reemplazo de fittings en el software?
12	L	¿Cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo para PROYECTAR la adición de todos los DRENES Y VENTEOS FALTANTES en el plano y recalcular la lista de materiales?
13	M	Si las ELEVACIONES ESTÁN MAL INDICADAS, ¿cuál es el tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo incurrido para PROYECTAR el movimiento de la línea en el plano y actualizar automáticamente todas las vistas y etiquetas?
14	N	Un error en la TABLA CUBICACIÓN DE MATERIALES, ¿Cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo le consume?
15	O	La CLASIFICACIÓN DE FLUIDO ERRADA obliga a cambiar la clase de tubería. ¿Cuánto tiempo de retrabajo (en minutos) mínimo, intermedio y máximo implica PROYECTAR esta actualización masiva de componentes en el modelo y verificar la consistencia?

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1.3 Comparación de tiempos de retrabajo entre departamento D&D y proyectista 1 – Revisión A

Gracias a lo anterior se pudo disponer de datos cuantitativos aproximados de como seria el tiempo de retrabajo en cada caso específico, a base de lo anterior se realizó una tabla en Excel donde se dispone de 3 etapas principales para el relleno de información y aproximación de tiempos de retrabajos en cada caso.

### 2.1.1.3.1 Tabla comparativa – Etapa 1 – Revisión A

En la primera etapa se consideran datos principales del plano que ingresa al departamento de diseño y desarrollo en donde se considera:

Información del plano:

- Fecha sobre ingreso de información al departamento de D&D.
- Licitación a la que corresponde.
- Código identificación de plano.
- Enumeración y cantidad de tramos que tiene.
- En que revisión se encuentra el plano.
- Fecha de revisión en el que entro al departamento.
- Fecha de salida del departamento.
- Actividad del Mapa: es donde se encuentra conectada a Mapa de proceso cruzado

Tabla 2.2 Tabla comparativa revisión A - Etapa 1

FECHA DE ENTREGA A DEPARTAMENTO D&D	LICITACIÓN	PLANO	TRAMOS	REV. PLANO	FECHA DE REV.	FECHA A REV. SIG.	ACTIVIDAD DEL MAPA (E) DE TRABAJOS EN PLANO
21-04-2025	25067	PL-25067-ZS-PP-REVA	1	A	21-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			2	A	21-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			3	A	21-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			4	A	21-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			5	A	21-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			6	A	21-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN

*Fuente: Elaboración propia*


### 2.1.1.3.2 Tabla comparativa - Etapa 2 – Revisión A

En la etapa 2 se consideran los 15 tipos de errores en planos de sistemas de tuberías, estos fueron ordenados de la A-O, estos son los que fueron preguntados en la encuesta.

A partir del registro en Excel, estos errores se representaron en una matriz de presencia/ausencia, donde se marca con un símbolo (✓) cada vez que un tipo de error aparece en un tramo del plano. La columna final, “Cantidad tipo de errores”, resume cuántas veces se repite cada tipo de error en la revisión A. Esta tabla permite visualizar de manera inmediata cuáles son los errores más recurrentes en la primera emisión del plano y sirve como base para etapas posteriores del análisis, en particular para la construcción del diagrama de Pareto y para la identificación de aquellos tipos de error que deberían abordarse con mayor prioridad en las acciones de mejora.

En este caso la etapa 2 se deja expresada como imagen para representar las letras de la A-O con el tipo de error al que pertenece.

**TABLA COMPARATIVA REVISIÓN A** 2



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

LETRA	ERRORES	TIPO DE ERROR													CANT. TIPO ERRORES		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
A	FALTA SOPORTE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10
B	COTA ERRONEA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
C	INTERFERENCIA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
D	DIAMETRO ERRONEO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7
E	FALTA MATERIALIDAD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
F	FALTA DRENAJE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
G	FALTA DE FITTING	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
H	SENTIDO DE FLUJO MAL O NO INDICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
I	TAD LINEA MAL O NO INDICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
J	FALTA DE ISOMÉTRICOS ASOCIADOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
K	RADIOS DE CURVATURA FUERA DE NORMA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
L	FALTA DE DRENS Y VIENTOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
M	ELEVACIONES MAL INDICADAS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
N	CUBICACIÓN MAT. INCOMPLETO O ERRADO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9
O	CLASIFICACIÓN DE FLUIDO ERRADO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 2.3 Tabla comparativa revisión A - Etapa 2

### 2.1.1.3.3 Tabla comparativa – Etapa 3 – Revisión A

En la etapa 3 se representa la jornada de trabajo del departamento de Diseño y desarrollo (datos obtenidos desde encuesta) en donde se deja en evidencia el tiempo de trabajo en días, horas y minutos, donde cada tramo tiene un tiempo destinado, estos tiempos fueron obtenidos gracias al cálculo de la cantidad de errores en el plano presentado multiplicado por el promedio de la cantidad de minutos, esta información está dividida en los tramos anteriormente mencionados.

Tabla 2.3 Tabla comparativa - Etapa 3 – Revisión A

DEPARTAMENTO DISEÑO & DESARROLLO				PROYECTISTA 1				RESPONSABLE PLANO
JORNADA DE TRABAJO			TRABAJO D&D minutos	JORNADA DE TRABAJO			TRABAJO PROYECTISTA 1 minutos	
HORA INICIO	HORA FIN	CANT. HORAS		HORA INICIO	HORA FIN	CANT. HORAS		
8:20:00	16:31:44	8:11:44	492	8:20:00	15:03:50	6:43:50	404	PROYECTISTA 1
8:20:00	16:28:40	8:08:40	489	8:20:00	15:02:57	6:42:57	403	PROYECTISTA 1
8:20:00	16:28:40	8:08:40	489	8:20:00	15:02:57	6:42:57	403	PROYECTISTA 1
8:20:00	15:48:38	7:28:38	449	8:20:00	14:40:43	6:20:43	381	PROYECTISTA 1
8:20:00	16:28:40	8:08:40	489	8:20:00	15:02:57	6:42:57	403	PROYECTISTA 1
8:20:00	16:28:40	8:08:40	489	8:20:00	15:02:57	6:42:57	403	PROYECTISTA 1
<b>DIAS DE TRABAJO</b>			<b>6</b>	<b>DIAS DE TRABAJO</b>			<b>5</b>	

Fuente: Elaboración propia



Tabla 2.4 Tiempo promedio de retrabajo en departamento D&amp;D.

TIEMPO PROMEDIO DE RETRAJO EN DEPARTAMENTO D&D					
LETRA	ERRORES	MINIMO A TRABAJAR (min)	INTERMEDIO A TRABAJAR (min)	MAXIMO A TRABAJAR (min)	PROMEDIO TRABAJO (min) (A)
A	FALTA SOPORTE	8	17	26	17
B	COTA ERRONEA	12	24	35	24
C	INTERFERENCIA	14	24	35	24
D	DIAMETRO ERRONEO	13	25	35	24
E	FALTA MATERIALIDAD	13	24	34	24
F	FALTA DRENAJE	13	26	38	26
G	FALTA DE FITTING	4	9	13	8
H	SENTIDO DE FLUJO MAL O NO INDICADO	4	8	14	9
I	TAG LINEA MAL O NO INDICADO	4	9	14	9
J	FALTA DE ISOMÉTRICOS ASOCIADOS	4	8	12	8
K	RADIOS DE CURVATURA FUERA DE NORMA	10	19	27	18
L	FALTA DE DRENES Y VENTEOS	5	10	15	10
M	ELEVACIONES MAL INDICADAS	4	8	12	8
N	CUBICACIÓN MAT. INCOMPLETO O ERRADO	3	8	14	8
O	CLASIFICACIÓN DE FLUIDO ERRADO	7	14	23	15

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 2.4 Tiempo promedio de retrabajo en departamento D&D se consolidan los resultados del formulario usando tres niveles de tiempo de retrabajo por tipo de error: mínimo, intermedio y máximo. Para cada nivel se cuentan 27 registros, que se promedian de manera independiente, obteniendo así tres valores numéricos representativos por error ( $t_{\min}$ ,  $t_{int}$ ,  $t_{\max}$ ). Estos promedios constituyen los datos duros del estudio, ya que permiten cuantificar el impacto temporal de cada no conformidad en minutos. A partir de estos valores se calcula la línea central y los límites de control superior e inferior de las cartas de control, proporcionando una base estadística objetiva para evaluar la variación del proceso de diseño y retrabajo en piping.

La Tabla 2.5 Tiempo promedio de retrabajo por el proyectista 1 hace la comparativa del tiempo promedio del proyectista 1, cuanto tiempo le tomo retrabajar los errores percibidos en el plano de revisión A, este tiempo es el que se compara en la tabla de la etapa 3 de la revisión A.

Tabla 2.5 Tiempo promedio de retrabajo por el proyectista 1.

TIEMPO PROMEDIO DE RETRABAJO PARA PROYECTISTA 1					
LETRA	ERRORES	RETRABAJO Mínimo (min)	RETRABAJO Intermedio (min)	RETRABAJO Máximo(min)	TIEMPO PROMEDIO
A	FALTA SOPORTE	5	10	15	10
B	COTA ERRONEA	2	8	10	7
C	INTERFERENCIA	10	20	30	20
D	DIAMETRO ERRONEO	5	10	15	10
E	FALTA MATERIALIDAD	5	10	20	12
F	FALTA DRENAJE	5	10	20	12
G	FALTA DE FITTING	2	5	10	6
H	SENTIDO DE FLUJO MAL O NO INDICADO	3	6	9	6
I	TAG LINEA MAL O NO INDICADO	1	5	7	4
J	FALTA DE ISOMÉTRICOS ASOCIADOS	5	10	15	10
K	RÁDIOS DE CURVATURA FUERA DE NORMA	3	5	8	5
L	FALTA DE DRENES Y VENTEOS	5	8	13	9
M	ELEVACIONES MAL INDICADAS	2	8	10	7
N	CUBICACIÓN MAT. INCOMPLETO O ERRADO	20	29	36	28
O	CLASIFICACIÓN DE FLUIDO ERRADO	5	10	15	10

*Fuente: elaboración propia*

La Tabla 2.5 Tiempo promedio de retrabajo por el proyectista 1 presenta la estimación de tiempos asociada a los 15 tipos de errores definidos en el estudio, identificados con las letras A-O. Para cada error se consigna el tiempo de retrabajo mínimo, intermedio y máximo (en minutos), junto con un tiempo promedio, calculado a partir de esas tres escalas. De este modo, la tabla permite visualizar, para el proyectista 1, qué errores implican mayores exigencias de retrabajo, por ejemplo, la cubicación de material incompleto o errado o las interferencias y cuáles representan un impacto temporal relativamente menor.

Esta información constituye un insumo comparativo frente a la tabla global del área de diseño y desarrollo, ya que posibilita contrastar el desempeño individual con el comportamiento promedio del departamento. En consecuencia, la Tabla 2.5 aporta datos duros para el análisis del proceso de diseño en piping, apoyando la identificación de errores críticos y la posterior construcción de indicadores y cartas de control utilizados en el estudio.

Tabla 2.6 Comparativa de tiempo de retrabajo entre departamento de D&D y proyectista 1

COMPARATIVA ENTRE DEPARTAMENTOD&D Y PROYECTISTA 1				
PROMEDIO TRABAJO (min) (A)	TIEMPO DE TRABAJO PROYECTISTA 1 (B)	CANTIDAD ERRORES POR TIPO (C)	TIEMPO TOTAL D&D (A)x(C)/6	TIEMPO TOTAL PROYECTISTA 1 (B)x(C)/6
17	10	19	54	32
24	7	5	20	6
24	20	5	20	17
24	10	0	0	0
24	12	0	0	0
26	12	0	0	0
8	6	236	333	223
9	6	6	9	6
9	4	6	9	4
8	10	6	8	10
18	5	1	3	1
10	9	0	0	0
8	7	6	8	7
8	28	21	29	99
15	10	0	0	0
<b>Suma total min. Retrabajo</b>			<b>492</b>	<b>404</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2.6 comparativa de tiempo de retrabajo entre departamento D&D y proyectista 1 sintetiza la relación entre los tiempos de retrabajo definidos para cada tipo de error identificado en el plano. la columna promedio trabajo (min) (A) corresponde al tiempo promedio de retrabajo asignado por el departamento a cada error, mientras que la columna tiempo de trabajo proyectista 1 (B) recoge el tiempo promedio declarado por el profesional encuestado que representa al departamento D&D. La columna cantidad de errores por tipo (C) indica cuántas veces aparece cada error en los seis tramos del plano analizado.

A partir de estos tres parámetros se calculan los tiempos totales de retrabajo: en la columna tiempo total D&D  $(A \times C) / 6$  se obtiene el tiempo total asociado a cada tipo de error según el estándar del departamento, y en la columna Tiempo total proyectista 1  $(B \times C) / 6$  se obtiene el tiempo equivalente según la estimación del proyectista 1. La división por seis refleja la segmentación previa del plano en seis tramos principales, distribuyendo el impacto de los errores sobre la totalidad del sistema.

En la última fila se presenta la suma total en min. De retrabajo, que asciende a 492 minutos para el departamento de D&D y 404 minutos para el proyectista 1. Estos valores representan el tiempo total de retrabajo requerido por el plano, según cada referencia, y constituyen la base cuantitativa para los análisis posteriores (por ejemplo, la construcción de diagramas de Pareto y cartas de control) orientados a evaluar la carga de retrabajo y priorizar los tipos de errores con mayor impacto en el proceso de diseño.

#### 2.1.1.4 Comparación de tiempos de retrabajo entre departamento D&D y proyectista 1 – Revisión B

Gracias a lo anterior se pudo disponer de datos cuantitativos aproximados de como sería el tiempo de retrabajo en cada caso específico, a base de lo anterior se realizó una tabla en Excel donde se dispone de 3 etapas principales para el relleno de información y aproximación de tiempos de retrabajos en cada caso.

##### 2.1.1.4.1 Tabla comparativa - Etapa 1 – Revisión B

En la primera etapa se consideran datos principales del plano que ingresa al departamento de diseño y desarrollo en donde se considera:

Información del plano:

- Fecha sobre ingreso de información al departamento de D&D
- Licitación a la que corresponde.
- Código identificación de plano.
- Enumeración y cantidad de tramos que tiene.
- En que revisión se encuentra el plano.
- Fecha de revisión en el que entro al departamento.
- Fecha de salida del departamento.

Actividad del Mapa: es donde se encuentra conectada a Mapa de proceso cruzado.

Tabla 2.7 Tabla comparativa revisión B- Etapa 1

FECHA DE ENTREGA A DEP. D&D	LICITACIÓN	PLANO	TRAMOS	REV. PLANO	FECHA DE REV.	FECHA A REV. SIG.	ACTIVIDAD DEL MAPA (E) DE TRABAJOS EN PLANO
18-04-2025	25067	PL-25067-ZS-PP-REVA	1	B	28-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			2	B	28-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			3	B	28-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			4	B	28-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			5	B	28-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN
			6	B	28-04-2025	28-04-2025	MOD. POR FALTA DE INFORMACIÓN

Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.1.4.2 Tabla comparativa – Etapa 2 - Revisión B

Al presentar la tabla comparativa de la revisión B se puede identificar que no todo lo anterior quedo resuelto en la revisión A, esto suele suceder por falta de información, pero aún así se deben presentar avances por fecha estimada.

En este caso igualmente la tabla de tipo de error se presenta como imagen ya que en esta se debe presentar con casillas correspondientes.

Ilustración 2.5 Tabla Comparativa Etapa 2 – Revisión B

TIPO DE ERROR															CANT. TIPO ERRORES
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 2.5 Tabla comparativa Etapa 2 - Revisión B

Ilustración 2.5 Tabla comparativa Etapa 2 - Revisión B, mediante casillas de verificación, la presencia o ausencia de cada tipo de error (A–O) en los tramos evaluados del plano durante la segunda etapa de revisión. En la parte superior se muestra el encabezado tipo de error y, en el extremo derecho, una columna en color verde denominada cant. tipo errores, donde se consigna el número total de categorías de error detectadas por fila. Cada fila corresponde a un tramo o conjunto de elementos revisados, y las casillas marcadas indican cuáles tipos de error se mantienen presentes en esa revisión.

Las casillas no resueltas en la revisión anterior se concentran únicamente en tres columnas específicas (B, H e I), mientras que el resto de los tipos de error permanece sin marcar. Esto se refleja en la columna final, donde se registra de manera consistente el valor “3”, indicando que en cada tramo revisado persisten solo tres tipos de errores. En comparación con la revisión anterior, la tabla evidencia una reducción y concentración de la problemática: ya no se distribuyen errores a lo largo de todos los tipos definidos, sino que se mantienen de forma recurrente en un subconjunto acotado de categorías. Esto permite concluir que la Revisión B muestra una mejora parcial del plano, pero también revela la existencia de errores sistemáticos que se repiten en varios tramos y que requieren acciones de corrección específicas y focalizadas, esto también indica que los errores no resueltos deben ser por otros motivos, como experiencia, información ambigua, reformulación de datos, etc.

### 2.1.1.4.3 Tabla comparativa – Etapa 3 - Revisión B

Tabla 2.8 Tabla comparativa Etapa 3 - Revisión B

DEPARTAMENTO DISEÑO & DESARROLLO				PROYECTISTA 1				
JORNADA DE TRABAJO			TRABAJO D&D	JORNADA DE TRABAJO			TRABAJO PROYECTISTA 1	RESPONSABLE DIBUJO
HORA INICIO	HORA FIN	CANT. HORAS		HORA INICIO	HORA FIN	CANT. HORAS		
8:20:00	9:01:12	0:41:12	41	8:20:00	8:37:00	0:17:00	17	PROYECTISTA 1
9:01:12	9:42:24	0:41:12	41	8:37:00	8:54:00	0:17:00	17	PROYECTISTA 1
9:42:24	10:23:36	0:41:12	41	8:54:00	9:11:00	0:17:00	17	PROYECTISTA 1
10:23:36	11:04:47	0:41:12	41	9:11:00	9:28:00	0:17:00	17	PROYECTISTA 1
11:04:47	11:45:59	0:41:12	41	9:28:00	9:45:00	0:17:00	17	PROYECTISTA 1
11:45:59	12:27:11	0:41:12	41	9:45:00	10:02:00	0:17:00	17	PROYECTISTA 1
<b>DIAS DE TRABAJO</b>			<b>0,5</b>	<b>DIAS DE TRABAJO</b>			<b>0,2</b>	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2.8 Tabla comparativa Etapa 3 – Revisión B presenta la distribución de horas dedicadas al retrabajo del plano por parte del departamento de Diseño y Desarrollo (D&D) y del proyectista 1 durante la Revisión B. En la sección izquierda se consigna, para cada uno de los seis planos o tramos revisados, la hora de inicio, hora de término y la cantidad de horas empleadas por D&D, registrándose bloques de trabajo de aproximadamente 0:41 h (41 minutos) por plano. En la sección derecha se muestra la misma estructura para el proyectista 1, quien dedica cerca de 0:17 h (17 minutos) a cada unidad revisada. Al pie de la tabla se resume esta información en términos de jornadas: el tiempo total invertido por D&D equivale a 0,5 días de trabajo (4 hrs de trabajo), mientras que el tiempo del proyectista 1 corresponde a 0,2 días (2hrs de trabajo) considerando una jornada estándar de 8 horas.

El análisis de estos resultados indica que, en la Etapa 3 – Revisión B, el retrabajo por plano se reduce respecto de etapas anteriores y se concentra en actividades más acotadas. Para el departamento de diseño y desarrollo, la suma de los seis bloques de 41 minutos se aproxima a 4 horas de trabajo adicional, es decir, medio día laboral dedicado exclusivamente a la corrección del plano. En el caso del proyectista 1, los seis bloques de 17 minutos suman cerca de 2 horas, lo que se traduce en aproximadamente un quinto de jornada.

De manera individual, ambos completan la Revisión B para el 28 de abril de 2025, lo que evidencia un esfuerzo coordinado por cerrar las observaciones pendientes dentro de un plazo acotado. Desde una perspectiva de gestión de la calidad, estos registros de tiempo permiten dimensionar el impacto real del retrabajo sobre la jornada laboral, sensibilizar al equipo respecto del costo asociado a los errores de diseño y aportar información objetiva para futuras acciones de mejora orientadas a reducir tanto la frecuencia de los retrabajos como la duración de las actividades correctivas.

#### 2.1.1.4.4 Etapa A

En esta etapa se presenta solo la tabla comparativa entre los tiempos del departamento de diseño y desarrollo con el proyectista 1, ya que las tablas de tiempo promedio de retrabajo fueron presentadas en las tablas:

- Tabla 2.4 Tiempo promedio de retrabajo en departamento D&D
- Tabla 2.5 Tiempo promedio de retrabajo por el proyectista 1

Por ello se presenta la tabla comparativa de tiempo de retrabajo entre departamento D&D y proyectista 1.

Tabla 2.9 Comparativa de tiempo de retrabajo entre departamento D&D y proyectista 1

COMPARATIVA ENTRE DEPARTAMENTOD&D Y PROYECTISTA 1				
PROMEDIO TRABAJO (min) (A)	TIEMPO DE TRABAJO PROYECTISTA 1 (B)	CANTIDAD ERRORES POR TIPO (C)	TIEMPO TOTAL D&D (A)x(C)/6	TIEMPO TOTAL PROYECTISTA 1 (B)x(C)/6
17	10	0	0	0
24	7	6	24	7
24	20	0	0	0
24	10	0	0	0
24	12	0	0	0
26	12	0	0	0
8	6	0	0	0
9	6	6	9	6
9	4	6	9	4
8	10	0	0	0
18	5	0	0	0
10	9	0	0	0
8	7	0	0	0
8	28	0	0	0
15	10	0	0	0
<b>Suma total min. Retrabajo</b>			<b>41</b>	<b>17</b>

*Fuente: Elaboración propia*

En la Etapa A se presenta la Tabla 2.9 “Comparativa de tiempo de retrabajo entre departamento D&D y proyectista 1”, cuyo propósito es contrastar los tiempos de retrabajo estimados por el departamento de diseño y desarrollo con los del proyectista 1 para la revisión B del plano. La tabla incorpora, para cada tipo de error, el promedio de tiempo de trabajo del departamento (A), el tiempo de trabajo del proyectista 1 (B) y la cantidad de errores por tipo (C) detectados en esta etapa. A partir de estos tres elementos se calculan dos columnas de síntesis: el tiempo total de retrabajo para D&D  $[(A \times C) / 6]$  y el tiempo total de retrabajo para el proyectista 1  $[(B \times C) / 6]$ , considerando la segmentación previa del plano en seis tramos.

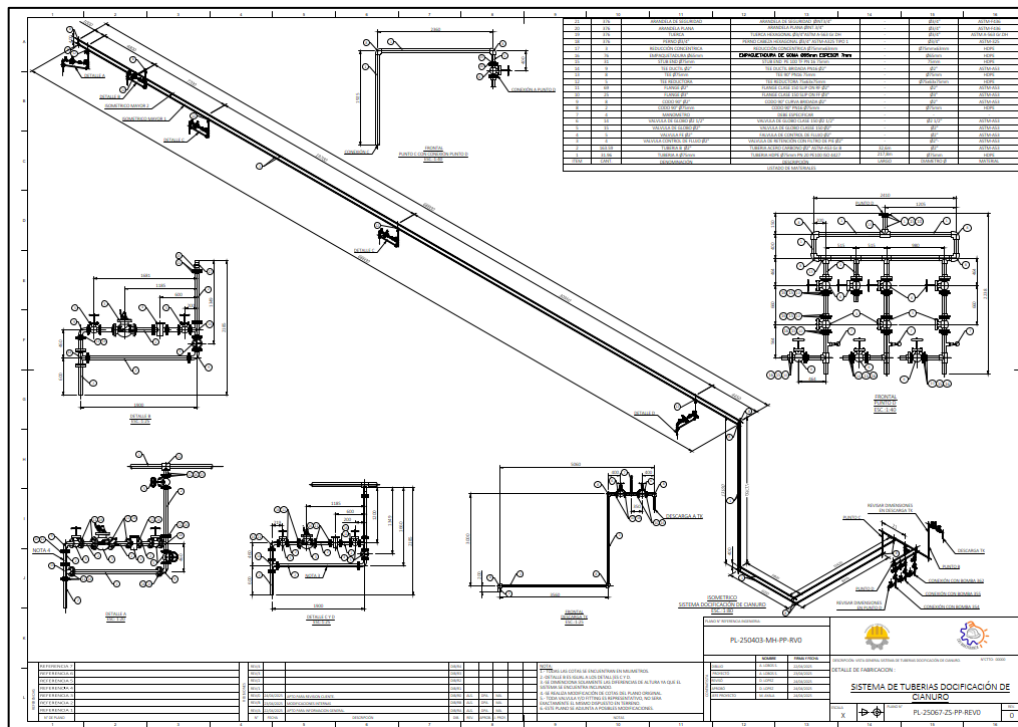
En la fila final se resume la “Suma total min. retrabajo”, que asciende a 41 minutos para el departamento de D&D y 17 minutos para el proyectista 1. Estos valores representan el esfuerzo mínimo adicional requerido para corregir los errores presentes en la revisión A, según cada referencia. La comparación evidencia que, aun cuando la carga de retrabajo es relativamente

acotada en esta etapa, el departamento de diseño y desarrollo asume una mayor proporción del trabajo correctivo que el proyectista individual. Esta lectura permite dimensionar el impacto del error sobre la jornada de ambos y aporta una base cuantitativa para analizar, en etapas posteriores, cómo evolucionan los tiempos de retrabajo y qué oportunidades de mejora se pueden priorizar en el proceso de diseño.

#### 2.1.1.5 Plano finalizado en revisión B

El plano finalizado en revisión B corresponde al resultado de las revisiones sucesivas A y B, en las cuales se integran las correcciones a los distintos tipos de errores detectados previamente. En esta versión se consolidan los tramos de tubería, los detalles de suportación, los isométricos asociados, la lista de materiales y la información complementaria necesaria para su emisión formal. De este modo, el plano cumple las condiciones para ser clasificado como documento de entrega al cliente con fecha 28 de abril de 2025, constituyéndose en la referencia técnica válida para las etapas posteriores del proyecto.

Gracias a la cantidad y calidad de información incorporada en esta revisión, el plano se considera apto para iniciar la modelación 3D del sistema de tuberías. La representación en planta y los detalles adjuntos permiten comprender la extensión del trazado, las conexiones principales, las elevaciones y las interfaces con otros sistemas. De este modo, el documento cumple no solo una función de registro gráfico, sino que también sirve de base para dimensionar la magnitud del sistema, coordinar disciplinas y disminuir la probabilidad de retrabajos en el modelo tridimensional.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 2.6 Plano PL-25067-ZS-PP-REVB

## 2.1.2 Comportamiento de tiempo tras modificación para revisión A.

### 2.1.2.1 Diagrama de Pareto – Revisión A

En la Tabla 2.10 se presenta el resumen del tiempo de retrabajo asociado a cada tipo de error identificado en el plano, para el departamento D&D. la columna “promedio trabajo (min) [a]” corresponde al tiempo promedio de retrabajo por ocurrencia de cada error, obtenido a partir del instrumento de estimación aplicado a los proyectistas. la columna “cantidad de errores por tipo [c]” registra cuántas veces aparece cada error en el plano analizado. con estos dos antecedentes se calcula el “tiempo total d&d  $(A \times C)/6$ ”, que representa el tiempo promedio de retrabajo por tramo/jornada para cada tipo de error, considerando los seis tramos analizados. la fila final muestra que el retrabajo promedio total asciende a 492 minutos por tramo, es decir, algo más de 8 horas-hombre dedicadas únicamente a corregir errores de diseño.

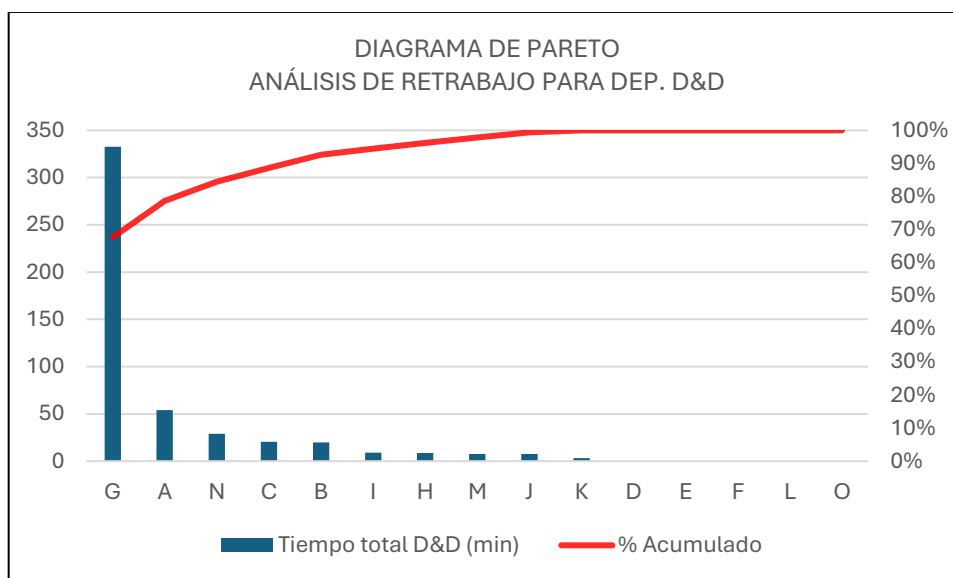
A partir de este tiempo total se calcula el “% del total”, que indica la participación relativa de cada tipo de error en el retrabajo global, y el “% acumulado”, que permite aplicar el criterio de Pareto. Se observa que el error tipo G concentra 333 minutos, equivalentes a aproximadamente 68 % del retrabajo total. El error tipo A aporta 54 minutos adicionales (11 %), mientras que el error tipo N suma 29 minutos (6 %). En conjunto, estos tres tipos de error representan cerca de 85 % del tiempo de retrabajo del departamento. El resto de los errores (C, B, I, H, M, J, K y aquellos con tiempo cero) tiene una contribución individual muy baja, inferior al 4 % cada uno, y en algunos casos no se observaron ocurrencias en el periodo analizado.

Tabla 2.10 Tabla Retrabajos dep D&D para diagrama de Pareto

ANÁLISIS DE RETRABAJO PARA DEPARTAMENTO D&D					
LETRA DE ERROR	PROMEDIO TRABAJO (min) (A)	CANTIDAD ERRORES POR TIPO (C)	TIEMPO TOTAL D&D $(A) \times (C) / 6$	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
G	8	236	333	68%	68%
A	17	19	54	11%	79%
N	8	21	29	6%	85%
C	24	5	20	4%	89%
B	24	5	20	4%	93%
I	9	6	9	2%	94%
H	9	6	9	2%	96%
M	8	6	8	2%	98%
J	8	6	8	2%	99%
K	18	1	3	1%	100%
D	24	0	0	0%	100%
E	24	0	0	0%	100%
F	26	0	0	0%	100%
L	10	0	0	0%	100%
O	15	0	0	0%	100%
Suma total min. Retrabajo			492		

Fuente: Elaboración propia

La Ilustración 2.7 Diagrama de Pareto Análisis retrabajo para el departamento D&D muestra el diagrama de Pareto construido a partir de esta tabla. Las barras azules representan el tiempo total de retrabajo por tipo de error (eje izquierdo), mientras que la línea roja corresponde al porcentaje acumulado de tiempo de retrabajo (eje derecho). Visualmente se confirma que el error G domina claramente el comportamiento del proceso, seguido a mucha distancia por los errores A y N. La curva acumulada alcanza aproximadamente el 80 % al considerar solo G y N, y se aproxima al 90 % al incorporar A, lo que evidencia un patrón típico “pocos vitales, muchos triviales”.



*Fuente: Elaboración propia*

*Ilustración 2.7 Diagrama de Pareto análisis retrabajo para el departamento D&D*

Este análisis de Pareto cumple un rol clave en la fase diagnóstica del trabajo de título, ya que cuantifica el impacto de cada tipo de error en el tiempo de retrabajo del área de D&D y permite priorizar las causas sobre las que se deben focalizar las acciones de mejora. En términos de enfoque de calidad y Lean Six Sigma, la tabla y el gráfico entregan la línea base del problema: muestran dónde se concentran las pérdidas de tiempo y qué errores constituyen los CTQ críticos para el cliente interno (plazos de entrega y confiabilidad del diseño).

A partir de estos resultados, las propuestas de mejora y los controles posteriores del proyecto se enfocan principalmente en reducir la ocurrencia y el tiempo asociado a los errores G, A y N, dado que actuar sobre ellos tiene el mayor potencial de disminuir el retrabajo total y, en consecuencia, de mejorar la eficiencia del proceso de diseño de piping.

### 2.1.2.2 Carta de control tipo I-MR – Departamento D&D - Revisión A

Para realizar las cartas de control tipo I-RM se implementan los siguientes datos.

Tabla 2.11 Datos para carta de control tipo I-MR-DEP D&D - Revisión A

DATOS		
JORNADA	JORNADA EN MIN	RANGO MOVIL
1	492	-
2	489	3
3	489	0
4	449	40
5	489	40
6	489	0
<b>PROMEDIO RETRABAJO</b>	<b>483</b>	<b>17</b>

*Fuente: elaboración propia*

Tabla 2.12 Carta de control tipo I-MR-DEP D&D - Revisión A (complementaria)

DATOS	
REFERENCIA	VALOR
MIN	527
MAX	438
UCL	54
LCL	0
MR	17

*Fuente: elaboración propia*

En la Tabla 2.11 se presentan los datos utilizados para la elaboración de la carta de control tipo I-MR del departamento de diseño y desarrollo (D&D), Revisión A. La tabla recoge seis jornadas de trabajo consecutivas, indicando para cada una de ellas el tiempo total de retrabajo en minutos y el rango móvil asociado. El rango móvil corresponde a la diferencia absoluta entre el tiempo de retrabajo de una jornada y la inmediatamente anterior, lo que permite cuantificar la variación diaria del proceso. En la fila final se resume el comportamiento global mediante el promedio de retrabajo, igual a 483 minutos por jornada, y el promedio de los rangos móviles, equivalente a 17 minutos.

La Tabla 2.12 complementa la información anterior, ya que a partir de dichos promedios se calculan los parámetros estadísticos requeridos para construir la carta I-MR. En ella, el valor denominado MIN representa el límite superior de control del tiempo de retrabajo ( $UCL_X = 527$  min) y MAX el límite inferior de control ( $LCL_X = 438$  min). Asimismo, el parámetro UCL corresponde al límite superior de control del rango móvil ( $UCL_{MR} = 54$  min), mientras que LCL se fija en 0 minutos, tal como se establece para este tipo de carta. Finalmente, el valor MR consigna nuevamente el rango móvil promedio (17 min), que actúa como línea central en la carta MR. Estos

valores constituyen la base numérica para evaluar gráficamente la estabilidad del proceso de retrabajo en el área de D&D.

#### 2.1.2.2.1 Carta de control tipo I - departamento D&D – Revisión A

Tabla 2.13 Carta de control tipo I – REVISIÓN A

Jornada	tiempo (min)	LC PROMEDIO	UCL PROMEDIO	LCL PROMEDIO
1	492	483	526,7	438,3
2	489	483	526,7	438,3
3	489	483	526,7	438,3
4	449	483	526,7	438,3
5	489	483	526,7	438,3
6	489	483	526,7	438,3

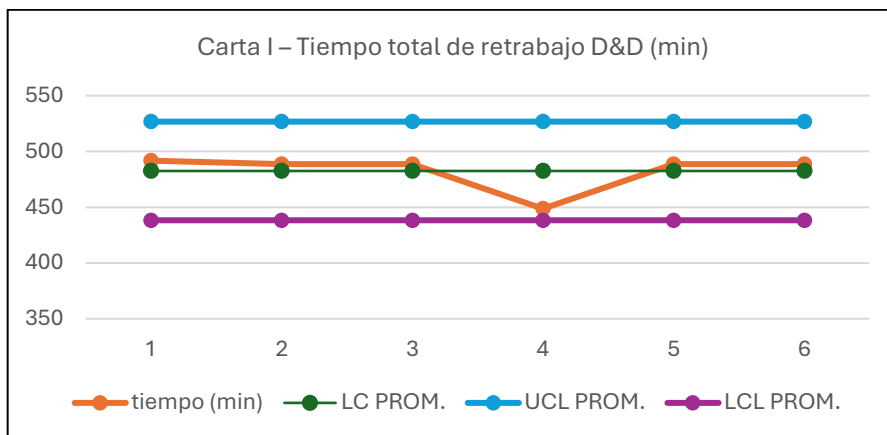
Fuente: elaboración propia

La Tabla 2.13 presenta los datos utilizados para la construcción de la carta de control tipo I para el Departamento de Diseño y Desarrollo, en su Revisión A. En la primera columna se registran las seis jornadas analizadas y, en la segunda, el tiempo total de retrabajo en minutos correspondiente a cada una de ellas. A partir de estos valores se determina la línea central (LC PROMEDIO), cuyo valor se fija en 483 minutos y representa el promedio del tiempo de retrabajo por jornada durante el periodo estudiado.

Las columnas UCL PROMEDIO y LCL PROMEDIO consignan, respectivamente, el límite superior (526,7 minutos) y el límite inferior de control (438,3 minutos) para la variable tiempo de retrabajo, calculados a partir del promedio y de la variabilidad estimada mediante el rango móvil. De este modo, la tabla entrega el conjunto de parámetros necesarios para representar gráficamente la carta I y evaluar, en términos estadísticos, la estabilidad del proceso de retrabajo en las distintas jornadas consideradas.

La Ilustración 2.8 muestra la carta de control tipo I para el tiempo total de retrabajo del Departamento de Diseño y Desarrollo (D&D), expresado en minutos por jornada. La línea naranja representa el tiempo de retrabajo observado en cada una de las seis jornadas, mientras que la línea verde corresponde a la línea central (LC), fijada en aproximadamente 483 minutos, que refleja el promedio del proceso.

Las líneas azul y morada representan el límite superior de control ( $UCL \approx 527$  min) y el límite inferior de control ( $LCL \approx 438$  min), respectivamente. Se observa que todas las jornadas se mantienen dentro de los límites de control, sin puntos fuera de ellos ni patrones claros de tendencia. La jornada 4 presenta el valor mínimo (cercano al LCL), pero sigue ubicada dentro del rango esperado por variación común. En conjunto, la carta indica que, para el periodo analizado, el proceso de retrabajo del D&D se mantiene bajo control estadístico, aunque con una carga de retrabajo elevada en torno a las 8 horas por jornada.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 2.8 Carta I - Tiempo total de retrabajo D&D (min)

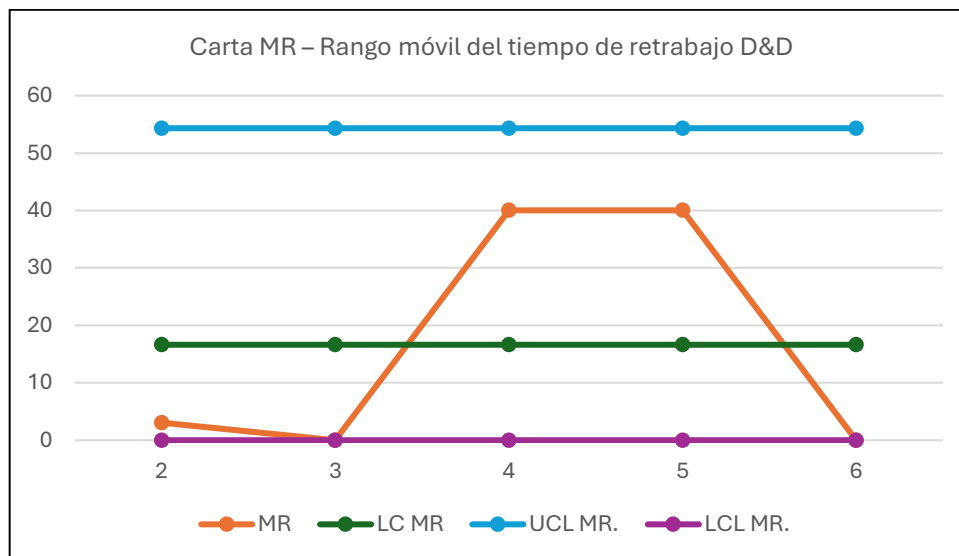
#### 2.1.2.2.2 Carta de control tipo MR - departamento D&D – Revisión A

Tabla 2.14 Carta de control tipo MR – REVISIÓN A

Jornada	MR	LC MR	UCL MR.	LCL MR.
2	3	17	54,3	0
3	0	17	54,3	0
4	40	17	54,3	0
5	40	17	54,3	0
6	0	17	54,3	0

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2.14 presenta los datos utilizados para la construcción de la carta de control tipo MR correspondiente al Departamento de Diseño y Desarrollo, en su Revisión A. En la primera columna se indican las jornadas 2 a 6, para las cuales se calcula el rango móvil (MR) como la diferencia absoluta entre el tiempo de retrabajo de cada jornada y el de la jornada anterior. La columna LC MR muestra el valor promedio de estos rangos móviles, igual a 17 minutos, que actúa como línea central de la carta. Por su parte, la columna UCL MR. consigna el límite superior de control del rango móvil (54,3 minutos), mientras que LCL MR. se fija en 0 minutos, tal como se establece para este tipo de gráfico. En conjunto, la tabla entrega los parámetros necesarios para analizar la variabilidad inmediata del proceso de retrabajo entre jornadas consecutivas y para identificar posibles incrementos anómalos en dicha variación.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 2.9 Carta I - Tiempo total de retrabajo D&D (min)

La Ilustración 2.9 muestra la carta de control tipo MR para el rango móvil del tiempo de retrabajo del Departamento de Diseño y Desarrollo (D&D). La línea naranja representa los valores de MR entre jornadas consecutivas (2 a 6), es decir, la variación absoluta del tiempo de retrabajo de un día respecto del anterior. La línea verde corresponde a la línea central (LC MR), fijada en 17 minutos, que refleja la variación promedio entre jornadas.

La línea azul indica el límite superior de control del rango móvil (UCL MR  $\approx$  54,3 min) y la línea morada el límite inferior de control (LCL MR = 0 min). Se observa que todos los rangos móviles se mantienen por debajo del UCL, aunque en las jornadas 4 y 5 se presentan incrementos significativos (MR = 40), lo que evidencia días con mayor cambio en el tiempo de retrabajo, pero aún dentro de la variación considerada común. En conjunto, la carta sugiere que la variabilidad entre jornadas del proceso de retrabajo D&D se mantiene bajo control estadístico, sin indicios de causas especiales en el periodo analizado.

### 2.1.3 Comportamiento de tiempo tras modificación para Revisión B

En la Tabla 2.15 se presenta la comparativa de retrabajo entre el Departamento de Diseño y Desarrollo (D&D) y el proyectista 1 para la Revisión B del plano. En la primera columna se identifican los tipos de error mediante letras, y en las columnas siguientes se registran, para cada uno de ellos, el promedio de tiempo de trabajo de D&D (A) y el tiempo de trabajo del proyectista 1 (B) requeridos para corregir dicho error. La columna “Cantidad de errores por tipo (C)” indica cuántas veces se observa cada error en el conjunto de jornadas analizadas.

Tabla 2.15 Tabla 2.16 Comparativa entre departamento D&D y proyectista 1

COMPARATIVA ENTRE DEPARTAMENTO D&D Y PROYECTISTA 1					
LETRA DE ERROR	PROMEDIO TRABAJO (min) (A)	TIEMPO DE TRABAJO PROYECTISTA 1 (B)	CANTIDAD ERRORES POR TIPO (C)	TIEMPO TOTAL D&D (A)x(C)/6	TIEMPO TOTAL PROYECTISTA 1 (B)x(C)/6
A	17	10	0	0	0
B	24	7	6	24	7
C	24	20	0	0	0
D	24	10	0	0	0
E	24	12	0	0	0
F	26	12	0	0	0
G	8	6	0	0	0
H	9	6	6	9	6
I	9	4	6	9	4
J	8	10	0	0	0
K	18	5	0	0	0
L	10	9	0	0	0
M	8	7	0	0	0
N	8	28	0	0	0
O	15	10	0	0	0
<b>Suma total min. Retrabajo</b>				<b>41</b>	<b>17</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

A partir de estos tres parámetros se calculan los tiempos totales de retrabajo por jornada para cada uno:

- Tiempo total D&D ( $A \times C / 6$ ),
- Tiempo total proyectista 1 ( $B \times C / 6$ ),

donde la división por seis corresponde al número de jornadas consideradas. De este modo, la tabla permite cuantificar, para cada tipo de error, cuántos minutos promedio por jornada representan las correcciones realizadas por el departamento y por el proyectista. La fila final resume estos resultados, mostrando que el retrabajo total promedio asciende a 41 minutos para D&D y 17 minutos para el proyectista 1, lo que evidencia una disminución y redistribución del esfuerzo de corrección tras la modificación del plano.

Esta tabla constituye la base de datos común desde la cual se derivan los análisis posteriores: por un lado, los diagramas de Pareto individuales de D&D y del proyectista 1, y por otro, las cartas de control del tiempo de retrabajo. Su finalidad es proporcionar una visión integrada del impacto de cada tipo de error en ambos responsables del diseño, facilitando la identificación de aquellos errores que concentran la mayor carga de retrabajo y que, por tanto, deben priorizarse en las acciones de mejora.

### 2.1.3.1 Diagrama de Pareto – Revisión B

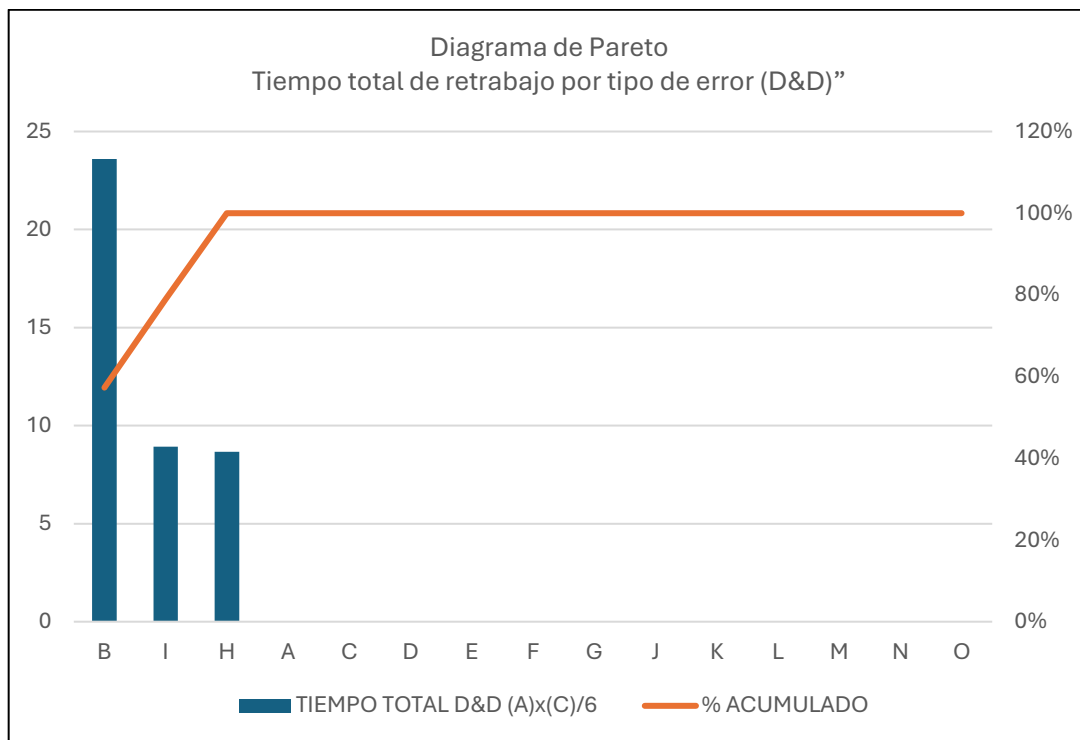
En la tabla 2.15 Análisis de retrabajo para departamento D&D se presentan los resultados del retrabajo clasificado por tipo de error. Para cada letra de error se informa el promedio de tiempo de trabajo (A) empleado en corregir ese tipo de error (en minutos), la cantidad de errores observados (C) en las seis jornadas analizadas y el tiempo total de retrabajo D&D, calculado como  $(A \times C) / 6$ . Este último representa los minutos de retrabajo que, en promedio por jornada, se asocian a cada tipo de error. A partir de esos tiempos se calcula el porcentaje del total, que muestra la contribución relativa de cada tipo de error a los 41 minutos totales de retrabajo, y el porcentaje acumulado, que suma progresivamente dichas contribuciones

Tabla 2.16 Retrabajos departamento D&D para diagrama de Pareto Revisión B

ANÁLISIS DE RETRABAJO PARA DEPARTAMENTO D&D					
LETRA DE ERROR	PROMEDIO TRABAJO (min) (A)	CANTIDAD ERRORES POR TIPO (C)	TIEMPO TOTAL D&D $(A \times C) / 6$	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
B	24	6	24	57%	57%
I	9	6	9	22%	79%
H	9	6	9	21%	100%
A	17	0	0	0%	100%
C	24	0	0	0%	100%
D	24	0	0	0%	100%
E	24	0	0	0%	100%
F	26	0	0	0%	100%
G	8	0	0	0%	100%
J	8	0	0	0%	100%
K	18	0	0	0%	100%
L	10	0	0	0%	100%
M	8	0	0	0%	100%
N	8	0	0	0%	100%
O	15	0	0	0%	100%
<b>Suma total min. Retrabajo</b>			<b>41</b>		

Fuente: Elaboración propia

La tabla se encuentra ordenada de mayor a menor según el tiempo total de retrabajo, de modo que el error B concentra un 57 % del tiempo de retrabajo, seguido por los errores I (22 %) y H (21 %), mientras que el resto de las categorías no aporta tiempo adicional en el periodo analizado. Estos mismos datos se utilizan para construir el diagrama de Pareto, donde las barras representan el tiempo total de retrabajo por tipo de error y la línea el porcentaje acumulado. La finalidad de este análisis es priorizar los tipos de error que generan mayor impacto en el retrabajo del departamento, identificando cuáles concentran aproximadamente el 80 % del problema y, por tanto, deben ser abordados primero en las acciones de mejora.



*Ilustración 2.10 Diagrama de Pareto - Tiempo total de retrabajo por tipo de error (D&D)*

La Ilustración 2.10 presenta el diagrama de Pareto del tiempo total de retrabajo por tipo de error para el Departamento de Diseño y Desarrollo (D&D). Las barras azules representan el tiempo promedio de retrabajo por jornada, calculado como  $(A \times C)/6$ , mientras que la línea naranja muestra el porcentaje acumulado de dicho tiempo sobre el total analizado.

Se observa que el error B concentra el mayor tiempo de retrabajo (24 minutos por jornada), seguido por los errores I y H, con 9 y 8 minutos respectivamente. Estos tres tipos de error explican el 100 % del tiempo de retrabajo registrado, mientras que el resto de las categorías no aporta tiempo adicional en el periodo estudiado, por lo que no generan barras visibles en el gráfico.

La finalidad de este diagrama es priorizar los tipos de error que ejercen mayor impacto en el retrabajo del D&D. Al evidenciar que B, I y H representan la totalidad del problema, el Pareto orienta las acciones de mejora hacia la reducción o eliminación de estos errores críticos, permitiendo focalizar recursos en las causas que generan la mayor pérdida de tiempo en el proceso de diseño.

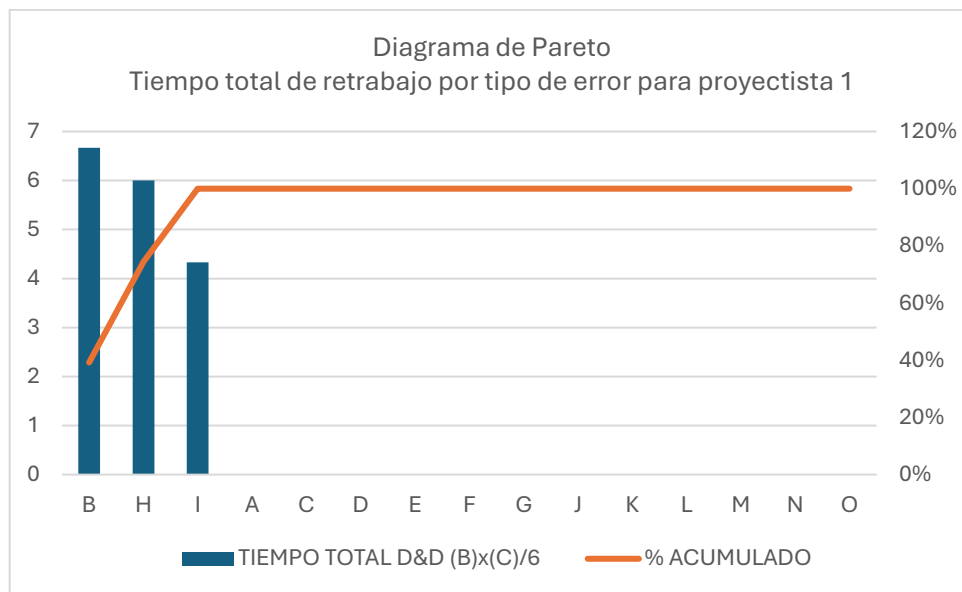
Tabla 2.17 Retrabajos departamento D&D para diagrama de Pareto Revisión B

ANÁLISIS DE RETRABAJO PARA PROYECTISTA 1					
LETRA DE ERROR	TIEMPO DE TRABAJO PROYECTISTA 1 (B)	CANTIDAD ERRORES POR TIPO (C)	TIEMPO TOTAL D&D $(B) \times (C) / 6$	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
B	7	6	7	39%	39%
H	6	6	6	35%	75%
I	4	6	4	25%	100%
A	10	0	0	0%	100%
C	20	0	0	0%	100%
D	10	0	0	0%	100%
E	12	0	0	0%	100%
F	12	0	0	0%	100%
G	6	0	0	0%	100%
J	10	0	0	0%	100%
K	5	0	0	0%	100%
L	9	0	0	0%	100%
M	7	0	0	0%	100%
N	28	0	0	0%	100%
O	10	0	0	0%	100%
<b>Suma total min. Retrabajo</b>			<b>17</b>		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.17 “Retrabajos departamento D&D para diagrama de Pareto Revisión B” se resumen los resultados del retrabajo clasificados por tipo de error asociado al proyectista. Para cada letra de error se registra el tiempo de trabajo del proyectista 1 (B) necesario para corregir dicho error (en minutos), la cantidad de errores observados (C) en las seis jornadas analizadas y el tiempo total de retrabajo, calculado como  $(B \times C) / 6$ . Este último valor representa los minutos de retrabajo promedio por jornada atribuibles a cada tipo de error. A partir de estos tiempos se determina el % del total, que muestra la participación relativa de cada error respecto de los 17 minutos totales de retrabajo, y el % acumulado, que suma progresivamente esas contribuciones.

La tabla se encuentra ordenada de mayor a menor según el tiempo total de retrabajo, evidenciando que los errores B, H e I concentran el 39 %, 35 % y 25 % del retrabajo, respectivamente, mientras que el resto de las categorías no aporta tiempo adicional en el periodo considerado. Estos mismos datos se utilizan para construir el diagrama de Pareto del Proyectista 1, donde las barras representan el tiempo total de retrabajo por tipo de error y la línea el porcentaje acumulado. La finalidad de este análisis es priorizar los errores que generan mayor impacto en el retrabajo individual del proyectista, identificando cuáles explican prácticamente el 100 % del problema y deben ser abordados con mayor urgencia en las acciones de mejora.



*Ilustración 2.11 Diagrama de Pareto - Tiempo total de retrabajo por tipo de error para proyectista 1*

La Ilustración 2.11 muestra el diagrama de Pareto del tiempo total de retrabajo por tipo de error para el proyectista 1. Las barras azules representan el tiempo promedio de retrabajo por jornada asociado a cada tipo de error, calculado como  $(B \times C) / 6$ , mientras que la línea naranja indica el porcentaje acumulado de dicho tiempo sobre el total de retrabajo del proyectista.

Se observa que los errores B, H e I concentran la totalidad del retrabajo: el error B aporta el mayor tiempo (aprox. 7 minutos por jornada), seguido por H (6 minutos) e I (4 minutos). En conjunto, estos tres errores explican el 100 % del tiempo de retrabajo registrado para el proyectista 1, mientras que el resto de las categorías no genera retrabajo adicional en el periodo estudiado.

La finalidad de este diagrama es identificar y priorizar los tipos de error que tienen mayor impacto en el retrabajo individual del proyectista, enfocando las acciones de mejora en las causas asociadas a B, H e I, que constituyen los puntos críticos del desempeño del diseño a nivel individual.

### 2.1.3.2 Carta de control tipo I-RM - Revisión B

En esta subsección se plantea inicialmente la aplicación de una carta de control tipo I-MR para el tiempo total de retrabajo asociado a la Revisión B. Sin embargo, al analizar la información disponible se observa que, para esta revisión, solo se cuenta con un registro puntual de tiempo por intervención, ya que las actividades de corrección se ejecutan en un rango aproximado de 2 a 4 horas (medio día de trabajo) y no se dispone de una serie de jornadas consecutivas comparable a la utilizada en la Revisión A.

Las cartas de control de individuos con rango móvil requieren múltiples observaciones en el tiempo (idealmente 5-6 puntos como mínimo) para poder estimar la variabilidad del proceso y calcular límites de control estadísticamente válidos. En el caso de la Revisión B, la cantidad de datos es insuficiente para cumplir con este requisito, por lo que la construcción de una carta I-MR resultaría artificial y potencialmente engañosa, al basarse en un solo valor y carecer de información sobre la variación entre jornadas.

Por esta razón, en la Revisión B se opta por no elaborar una carta de control y se trabaja únicamente con un análisis descriptivo y comparativo del tiempo total de retrabajo, utilizando como referencia los resultados obtenidos en la Revisión A. De este modo se respetan las condiciones de aplicación de la herramienta estadística y se evita sobre-interpretar datos que no cumplen con los supuestos del método.

## 2.2 Resultados obtenidos

A partir de los análisis realizados se observa, en primer lugar, que en la Revisión A el proceso de retrabajo del Departamento de Diseño y Desarrollo (D&D) y del proyectista 1 se encuentra bajo control estadístico, de acuerdo con las cartas de control tipo I-MR elaboradas. No se detectan puntos fuera de los límites ni patrones anómalos, lo que indica que la variación observada corresponde principalmente a causas comunes del proceso. Sin embargo, el nivel promedio de retrabajo es elevado, con tiempos cercanos a una jornada completa de trabajo por día.

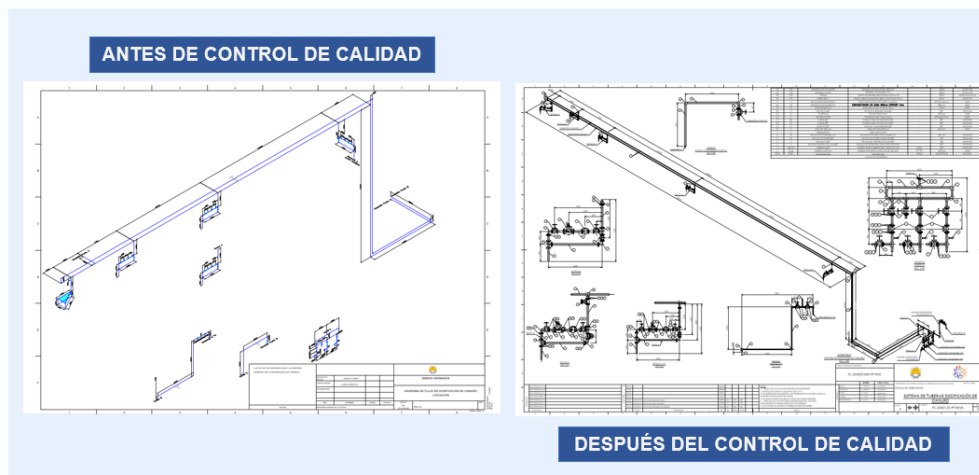
Los diagramas de Pareto construidos para la Revisión A muestran que el retrabajo se concentra en pocos tipos de error. Para D&D, los errores B, I y H explican prácticamente el 100 % del tiempo de retrabajo; de forma análoga, para el proyectista 1 los errores B, H e I concentran la totalidad del tiempo de corrección. Esta concentración permite identificar focos prioritarios de mejora asociados a tipos de error específicos (por ejemplo, falta de soporte, falta de fitting, interferencias, según la codificación utilizada en el estudio).

Tras la implementación de los cambios en el diseño (Revisión B), el tiempo total de retrabajo se reduce drásticamente: el D&D pasa de 492 min/jornada a 41 min/jornada, y el proyectista 1 disminuye de 404 min/jornada a 17 min/jornada, lo que representa reducciones superiores al 90 % y 95 %, respectivamente. Aunque la cantidad de datos disponible en esta etapa no permite construir nuevas cartas de control, la comparación directa de tiempos y los nuevos diagramas de Pareto evidencian que el retrabajo se vuelve mucho más acotado y se mantiene focalizado en muy pocos tipos de error

En conjunto, los resultados indican que la propuesta de mejora aplicada en la Revisión B reduce significativamente la carga de retrabajo y focaliza los problemas residuales en unos pocos tipos de error, que pueden ser abordados mediante acciones específicas (estandarización de criterios de modelación, y/o checklist Estas evidencias respaldan el impacto positivo de la intervención sobre el desempeño del proceso de diseño de piping.

## CONTROL DE CALIDAD

VERSUS ENTRE REV A Y REV B



Fuente: Elaboración propia

*Ilustración 2.12 Control de calidad en planos*

En la imagen de la izquierda (“Antes de control de calidad”) se aprecia un modelo parcial, con un trazado simplificado de la tubería y una representación limitada de soportes, accesorios y detalles de montaje. Esta situación refleja el estado inicial del diseño, en el que los diagramas de Pareto de la Revisión A evidencian una alta concentración de retrabajo asociada a pocos tipos de error (principalmente B, I y H), los cuales generaban gran parte del tiempo de corrección tanto para el departamento D&D como para el proyectista 1.

La imagen de la derecha (“Después del control de calidad”) corresponde a la Revisión B, en la que el plano ya incorpora las correcciones y mejoras derivadas del análisis estadístico. Se observa un plano mucho más completo y detallado, con el trazado de tuberías definido, la disposición de soportes, equipos y conexiones, y la información complementaria organizada en vistas y cuadros de datos. Este resultado está alineado con los diagramas de Pareto de la Revisión B, donde el tiempo total de retrabajo se reduce drásticamente (de 41 a 17 minutos) y los errores críticos se acotan a un número muy reducido.

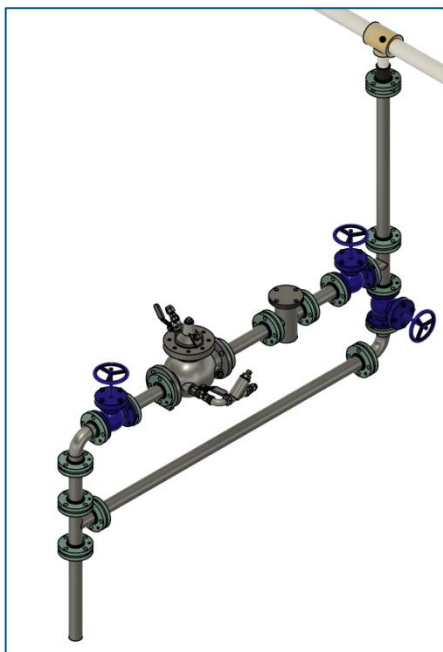
En conjunto, la ilustración refuerza visualmente que el uso combinado de control estadístico (Pareto, cartas I-MR) y revisión técnica sistemática permite transformar un diseño con alta carga de retrabajo en un plano técnicamente robusto, documentado y consistente, disminuyendo de manera significativa la probabilidad de errores en etapas posteriores del proyecto.

Gracias a la información proporcionada por las cartas de control y los diagramas de Pareto, en los que se identifican y priorizan los tipos de error más críticos, se obtiene una base de diseño depurada que sirve como insumo para la modelación 3D. A partir de la Revisión B del plano, donde se corrigen las desviaciones asociadas a soportes, fittings, interferencias y cotas, el proyectista puede desarrollar el modelo tridimensional de la línea de piping en un tiempo considerablemente menor y con menor cantidad de retrabajo.

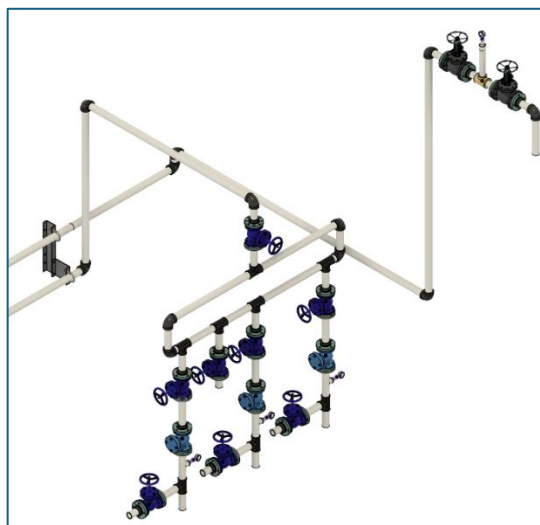
El modelo 3D que se muestra en la Ilustración 2.13 corresponde a los tramos 1, 2 y 3 ya optimizados, en los cuales se observa una disposición coherente de tuberías, válvulas, accesorios y soportes, respetando las elevaciones y distancias definidas en el plano corregido. Este resultado evidencia que el control de calidad aplicado sobre la Revisión A no solo reduce los tiempos de corrección en 2D, sino que también mejora la calidad y confiabilidad del modelo 3D, disminuyendo la probabilidad de interferencias en terreno y facilitando la coordinación con otras disciplinas del proyecto



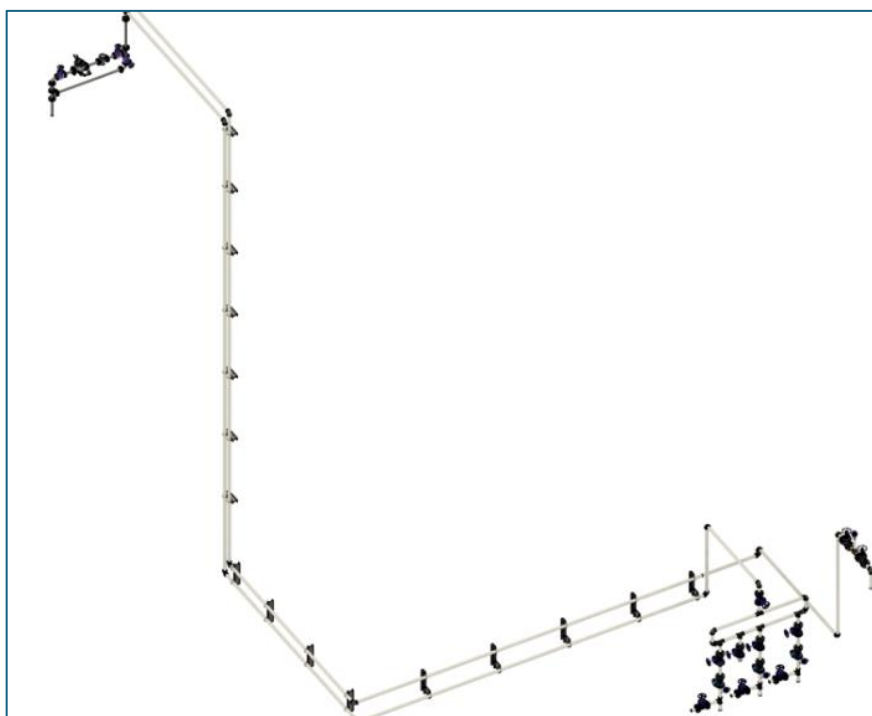
*Ilustración 2.13 Modelo 3D sin errores – Tramo 1;2;3*



*Ilustración 2.14 Modelo 3D sin errores - Tramo 3*



*Ilustración 2.15 Modelo 3D sin errores – Tramo 4;5;6*



*Ilustración 2.16 Modelo 3D sin errores – Tramo 1;2;3;4;5;6*

### 3. CAPÍTULO 3: “PROPUESTA DE OPCIONES DE MEJORA”

#### 3.1 Propuesta de opciones de mejora.

Con base en los resultados obtenidos en la Revisión A, los diagramas de Pareto muestran que el retrabajo se concentra principalmente en los errores B (cota errónea), H (sentido de flujo mal o no indicado) e I (tag de línea mal o no indicado), tanto para el Departamento D&D como para el proyectista 1. Estos tres tipos de error explican prácticamente la totalidad del tiempo de retrabajo, por lo que se definen como errores críticos y se convierten en el foco de las propuestas de mejora desarrolladas en este capítulo.

##### 3.1.1 Diagrama de Causa – Efecto.

Para identificar las causas que originan los errores críticos detectados en los diagramas de Pareto, se elabora un diagrama de causa–efecto (Ishikawa) cuyo “efecto” corresponde al alto tiempo de retrabajo por errores B, H e I en planos de piping. El análisis se estructura de acuerdo con las categorías clásicas de las “6M”:

- Método: ausencia de un procedimiento formal de revisión de planos, inexistencia de un checklist específico para verificar cotas, sentido de flujo y tag de línea, y criterios de acotación poco estandarizados entre proyectistas
- Mano de obra (personal): diferencias en el nivel de experiencia en modelación 3D, desconocimiento parcial de los criterios internos de la empresa y dependencia excesiva de la interpretación individual del plano.
- Medición / Información: planos bases incompletos o desactualizados, falta de referencias claras de origen de cotas y niveles, y escasa trazabilidad de los cambios entre revisiones.
- Máquina (software y herramientas): configuración no unificada de AutoCAD, librerías de soportes y fittings sin codificación homogénea, y ausencia de automatización para verificar coherencia de tags y flujo.
- Material (documentación técnica): especificaciones de proceso dispersas (P&ID, lo que aumenta la probabilidad de transcribir información errónea al modelo.
- Medio ambiente / Gestión: presión de plazos, trabajo en paralelo entre disciplinas y falta de instancias formales de revisión cruzada antes de liberar un plano.

El diagrama de Ishikawa permite visualizar que el problema de retrabajo no se debe solo a la ejecución del modelador, sino a una combinación de falta de estandarización, carencias de información y debilidades en el control de calidad previo.

## DIAGRAMA DE ISHIKAWA SOBRE ERRORES EN PLANOS

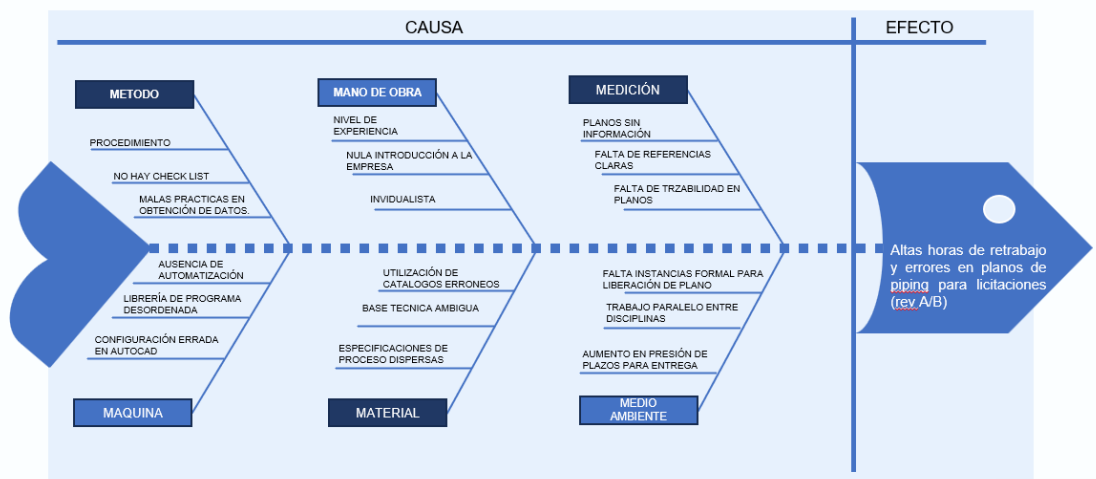


Ilustración 3.1 Diagrama causa - efecto (ISHIKAWA)

### 3.1.2 Propuesta tras análisis de diagrama de Pareto

A partir de las causas identificadas en el diagrama de causa-efecto y de la priorización entregada por los diagramas de Pareto, se formula una primera propuesta de mejora orientada a reducir los errores B, H e I:

- Estandarización del proceso de revisión de planos de piping, mediante la elaboración de un procedimiento de control de calidad que defina etapas, responsables y criterios mínimos de verificación antes de emitir una nueva revisión.
- Implementación de un checklist específico para errores críticos, que incluya:
  - Verificación de cotas y niveles claves (error B).
  - Confirmación del sentido de flujo y ubicación de flechas en todas las líneas (error H).
  - Revisión del tag de línea contra la lista maestra y los P&ID (error I).
- Revisión cruzada entre D&D y proyectista 1 previa a la emisión del plano, utilizando el checklist como evidencia documental de la revisión realizada.
- Actualización y ordenamiento de la documentación de referencia (P&ID, lista de líneas, especificaciones), de forma que la información necesaria para acotar, etiquetar y definir el flujo esté disponible y alineada.
- Retroalimentación sistemática a partir de las métricas de retrabajo, incorporando en cada proyecto el registro de tiempos y tipos de error para evaluar si el porcentaje asociado a B, H e I disminuye en futuras revisiones.

Con esta propuesta se busca que, en proyectos posteriores, el tiempo de retrabajo no vuelva a alcanzar los niveles observados en la Revisión A y que el comportamiento se asemeje a la Revisión B, donde el retrabajo se reduce en más de un 90 %. De este modo, el uso combinado de diagrama de Pareto e Ishikawa se traduce en acciones concretas de estandarización y control, orientadas a asegurar la calidad de los planos y del modelo 3D desde etapas tempranas del diseño.

## DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que el uso combinado de cartas de control I–MR y diagramas de Pareto entrega información útil para gestionar la calidad en el diseño de piping. En la Revisión A, las cartas I–MR muestran que el retrabajo de D&D y del proyectista 1 se mantiene bajo control estadístico, por lo que la variación observada responde principalmente a causas comunes del proceso. Sin embargo, aun con estabilidad, los tiempos promedio de retrabajo resultan elevados, lo que revela un problema de eficiencia más que de inestabilidad y justifica la necesidad de orientar el control hacia la reducción del desperdicio asociado al retrabajo.

Los diagramas de Pareto de la Revisión A confirman que el retrabajo se concentra en pocos tipos de error, destacando principalmente B, H e I, lo que permite priorizar acciones de mejora en lugar de distribuir esfuerzos en múltiples categorías de bajo impacto. Esta evidencia facilita reforzar criterios técnicos uniformes y controles de revisión enfocados en aspectos específicos del diseño, tales como verificación de cotas, sentido de flujo y correcta asignación de tags de línea. En consecuencia, el análisis no solo describe la situación, sino que sustenta la focalización y estandarización de los puntos críticos que más inciden en el retrabajo.

La Revisión B demuestra un impacto significativo de las acciones de estandarización y control de calidad, reduciendo el tiempo promedio de retrabajo de D&D de 492 a 41 minutos por jornada y el del proyectista 1 de 404 a 17 minutos, con disminuciones superiores al 90 %, además de acotar el retrabajo residual a pocos errores. Aunque la escasez de datos impide construir cartas I–MR en esta etapa, la comparación entre revisiones es suficiente para evidenciar la mejora del desempeño y un diseño 3D más robusto, con menor probabilidad de interferencias y ajustes posteriores. No obstante, el estudio se limita a un solo proyecto y a pocas jornadas, y no cuantifica impactos en costos ni en indicadores operacionales, por lo que se recomienda ampliar la muestra y las métricas en trabajos futuros.

## CONCLUSIONES

- El diagnóstico inicial realizado en la Revisión A, mediante cartas de control tipo I-MR y diagramas de Pareto, permitió caracterizar el retrabajo como un proceso estable pero ineficiente, con tiempos promedio cercanos a una jornada de trabajo por día para D&D y el proyectista 1.
- Los diagramas de Pareto evidenciaron que el retrabajo se concentra en muy pocos tipos de error (principalmente B, H e I), que explican prácticamente el 100 % del tiempo de corrección. Esto confirmó la pertinencia de aplicar el principio de Pareto para priorizar las causas y orientar los esfuerzos de mejora.
- A partir del análisis causa-efecto, se identificó que los errores críticos se relacionan con falta de estandarización de criterios de diseño, ausencia de procedimientos formales de revisión, documentación dispersa y diferencias en la experiencia de los proyectistas. Estos factores se combinan y favorecen la aparición recurrente de errores en cotas, sentido de flujo y tags de línea.
- La propuesta de mejora basada en checklists de control de calidad, revisión cruzada entre D&D y proyectista, y ordenamiento de la información de referencia permitió reducir de forma significativa el retrabajo. En la Revisión B, el tiempo total de retrabajo disminuyó

de 492 a 41 minutos por jornada para D&D y de 404 a 17 minutos para el proyectista 1, lo que representa reducciones superiores al 90 %.

- El modelo 3D elaborado a partir de la Revisión B demuestra que un plano sometido a control de calidad estadístico y técnico genera un diseño más completo, consistente y confiable, disminuyendo la probabilidad de interferencias y modificaciones en etapas posteriores del proyecto.
- Aunque en la Revisión B no fue posible aplicar cartas de control I-MR por la limitada disponibilidad de datos, la comparación entre revisiones y los nuevos diagramas de Pareto constituyen evidencia suficiente para concluir que la propuesta de mejora es efectiva en la reducción del retrabajo y en la focalización de los problemas residuales.
- Finalmente, se concluye que la integración de herramientas de Control Estadístico de Procesos (CEP) en el proceso de diseño de piping es viable y aporta valor tangible, siempre que se acompañe de acciones de estandarización, gestión documental y capacitación. Se recomienda extender esta metodología a otros proyectos de la empresa y complementar futuros estudios con indicadores de costo, plazo y seguridad para evaluar el impacto global de las mejoras implementadas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Humberto Gutiérrez Pulido - Román de la Vara Salazar (tercera edición) Control estadístico de la calidad y seis sigmas
2. JUNIOR/SENIOR  
<https://blog.wearedrew.co/concepts/direccion/niveles-de-seniority-cuales-son-y-como-se-diferencian>
3. Cristian Sánchez (2024) Mapa de procesos - Asignatura ISO 9000
4. Humberto Gutiérrez Pulido - Román de la Vara Salazar (tercera edición) Control estadístico de la calidad y seis sigmas