

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

APLICACIÓN DEL CICLO DMAIC PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DE DOCUMENTOS DE PAGO A  
CONTRATISTAS EN METRO S.A.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
INDUSTRIAL

AUTOR  
BENJAMÍN REVECO GODOY

PROFESOR GUÍA  
JAVIER SCAVIA DAL POZZO

PROFESOR CO-REFERENTE  
FRANCISCO FREIRE ARRIAGADA

SANTIAGO DE CHILE, 6 DE JULIO, 2026



## 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:** APLICACIÓN DEL CICLO DMAIC PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOCUMENTOS DE PAGO A CONTRATISTAS EN METRO S.A

**Nombre del candidato(a):** Benjamín Andrés Reveco Godoy

**Carrera / Grado:** Ingeniería Civil Industrial

**Campus:** Vitacura **Departamento:** Industrias

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

Yo, Javier Scavia Dal Pozzo, 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:** 23-8-26

**Firma:**

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 22/08/2026

**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.*

## Índice de Contenidos

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Agradecimientos</b>                                          | <b>6</b>  |
| <b>2. Resumen ejecutivo</b>                                        | <b>7</b>  |
| <b>3. Introducción</b>                                             | <b>9</b>  |
| <b>4. Problema de investigación</b>                                | <b>11</b> |
| <b>5. Objetivos</b>                                                | <b>14</b> |
| 5.1. Objetivo General . . . . .                                    | 14        |
| 5.2. Objetivos Específicos . . . . .                               | 14        |
| <b>6. Alcance</b>                                                  | <b>16</b> |
| <b>7. Marco teórico</b>                                            | <b>17</b> |
| 7.1. Metodologías de Mejora continua y Calidad . . . . .           | 17        |
| 7.1.1. Ciclo DMAIC . . . . .                                       | 17        |
| 7.1.2. Lean Six Sigma . . . . .                                    | 19        |
| 7.2. Modelamiento y Diagnóstico de procesos . . . . .              | 20        |
| 7.2.1. BPMN . . . . .                                              | 20        |
| 7.2.2. Métricas de desempeño (KPI) . . . . .                       | 21        |
| 7.2.3. Juicio experto . . . . .                                    | 22        |
| 7.2.4. Voice of process . . . . .                                  | 22        |
| 7.3. Análisis de causas y Generación de valor . . . . .            | 24        |
| 7.3.1. Diagrama de Ishikawa (Causa efecto) . . . . .               | 24        |
| 7.3.2. Análisis de valor agregado . . . . .                        | 25        |
| 7.3.3. Teoría del Error humano en transcripción de datos . . . . . | 26        |
| 7.4. Tecnologías de automatización . . . . .                       | 27        |
| 7.4.1. Lenguajes de código abierto en la industria . . . . .       | 27        |
| 7.4.2. Manipulación masiva de datos . . . . .                      | 27        |

|           |                                                                                          |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.4.3.    | Desarrollo de Interfaces Web declarativas . . . . .                                      | 28        |
| 7.4.4.    | Arquitectura de Despliegue Local (Localhost) . . . . .                                   | 29        |
| 7.5.      | Aseguramiento de la Calidad y Sostenibilidad . . . . .                                   | 30        |
| 7.5.1.    | Poka-Yoke (Ingeniería preventiva) . . . . .                                              | 30        |
| 7.5.2.    | Plan de Control . . . . .                                                                | 30        |
| <b>8.</b> | <b>Metodología</b>                                                                       | <b>32</b> |
| 8.1.      | Definir el problema . . . . .                                                            | 32        |
| 8.1.1.    | Levantamiento de la problemática con el responsable del proceso .                        | 32        |
| 8.1.2.    | Actividades de mayor valor desplazadas por la tarea documental .                         | 34        |
| 8.1.3.    | Flujo actual de pago a contratistas . . . . .                                            | 35        |
| 8.2.      | Medir el problema . . . . .                                                              | 40        |
| 8.2.1.    | Cuantificación del tiempo de elaboración documental . . . . .                            | 40        |
| 8.2.2.    | Tasa de rechazo en flujo de firmas . . . . .                                             | 40        |
| 8.2.3.    | Línea base del indicador del proceso: tiempo de liberación de la HES                     | 41        |
| 8.2.4.    | Identificación de la variable crítica: estrechamiento de la holgura<br>interna . . . . . | 41        |
| 8.2.5.    | Implicancia para el alcance de la intervención . . . . .                                 | 42        |
| 8.3.      | Analizar las causas . . . . .                                                            | 43        |
| 8.3.1.    | Análisis de causas por categorías . . . . .                                              | 43        |
| 8.3.2.    | Priorización de causas . . . . .                                                         | 48        |
| 8.3.3.    | Matriz impacto factibilidad . . . . .                                                    | 53        |
| 8.3.4.    | Análisis de valor agregado . . . . .                                                     | 55        |
| 8.3.5.    | Síntesis causal . . . . .                                                                | 58        |
| 8.4.      | Mejorar el proceso . . . . .                                                             | 60        |
| 8.4.1.    | Arquitectura general de la solución . . . . .                                            | 60        |
| 8.4.2.    | Parámetros a extraer en la Carta de Conformidad y CAS . . . . .                          | 61        |
| 8.4.3.    | Flujo de uso del portal . . . . .                                                        | 65        |
| 8.4.4.    | Rol del administrador tras la automatización . . . . .                                   | 74        |
| 8.5.      | Controlar la mejora . . . . .                                                            | 75        |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.5.1. KPIs seleccionados . . . . .                                               | 75        |
| 8.5.2. Resumen plan de control . . . . .                                          | 78        |
| 8.5.3. Protocolo de revisión mensual . . . . .                                    | 78        |
| <b>9. Resultados</b>                                                              | <b>80</b> |
| 9.1. Tiempo de Ciclo de Generación (TCG): . . . . .                               | 80        |
| 9.2. Horas-Hombre Liberadas (HHL) . . . . .                                       | 81        |
| 9.3. Tasa de Documentos sin Corrección posterior (TDC) . . . . .                  | 81        |
| 9.4. Gráfico de seguimiento . . . . .                                             | 82        |
| 9.5. Tasa de rechazo en el flujo de firmas . . . . .                              | 83        |
| 9.6. Síntesis de resultados . . . . .                                             | 84        |
| <b>10. Conclusiones y discusión</b>                                               | <b>85</b> |
| 10.1. Sobre el diagnóstico del proceso . . . . .                                  | 85        |
| 10.2. Sobre la solución implementada . . . . .                                    | 86        |
| 10.3. Sobre las condiciones de sostenibilidad . . . . .                           | 87        |
| 10.4. Reflexión metodológica . . . . .                                            | 88        |
| <b>11. Limitaciones</b>                                                           | <b>90</b> |
| <b>12. Anexos</b>                                                                 | <b>92</b> |
| 12.1. Anexo 1: Explicación del código . . . . .                                   | 92        |
| 12.1.1. Bloque 1: Configuración inicial y funciones de formato numérico . . . . . | 92        |
| 12.1.2. Bloque 2: Carga y consulta de la base de datos maestra . . . . .          | 92        |
| 12.1.3. Bloque 3: Motor de extracción del EdP . . . . .                           | 93        |
| 12.1.4. Bloque 4: Registro de ejecuciones y cálculo de KPIs . . . . .             | 93        |
| 12.1.5. Bloque 5: Pantallas del portal . . . . .                                  | 93        |
| 12.2. Anexo 2: Librerías utilizadas . . . . .                                     | 94        |
| <b>13. Referencias</b>                                                            | <b>97</b> |

## Índice de Tablas

|    |                                                                                              |    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Priorización de causas del diagrama de Ishikawa según factibilidad de intervención . . . . . | 49 |
| 2. | Análisis de valor agregado del proceso actual de generación documental .                     | 56 |
| 3. | Parámetros de la Carta de Conformidad . . . . .                                              | 62 |
| 4. | Parámetros del Certificado de Aceptación de Servicios (CAS) . . . . .                        | 63 |
| 5. | Plan de control del proceso automatizado . . . . .                                           | 78 |
| 6. | Comparación de indicadores antes y después de la automatización. . . . .                     | 81 |

## Índice de Figuras

|     |                                                                               |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Ciclo DMAIC . . . . .                                                         | 18 |
| 2.  | Ejemplo de Diagrama BPMN . . . . .                                            | 21 |
| 3.  | Diagrama causa-efecto de Ishikawa . . . . .                                   | 25 |
| 4.  | Diagrama de flujo para pagos a contratistas . . . . .                         | 37 |
| 5.  | Diagrama espina de pescado del problema de investigación . . . . .            | 44 |
| 6.  | Matriz de Impacto y Factibilidad para la priorización de causas raíz. . . . . | 53 |
| 7.  | Arquitectura del portal de automatización documental. . . . .                 | 61 |
| 8.  | Pantalla 1 Portal Automatización . . . . .                                    | 65 |
| 9.  | Pantalla 1.1 Portal Automatización . . . . .                                  | 66 |
| 10. | Pantalla 2 Portal Automatización . . . . .                                    | 67 |
| 11. | Pantalla 2.1 Portal Automatización . . . . .                                  | 67 |
| 12. | Pantalla 3 Portal Automatización . . . . .                                    | 68 |
| 13. | Resultado N°1: Carta conformidad . . . . .                                    | 69 |
| 14. | Pantalla 4 Portal Automatización . . . . .                                    | 69 |
| 15. | Pantalla 4.1 Portal Automatización . . . . .                                  | 70 |
| 16. | Pantalla 4.2 Portal Automatización . . . . .                                  | 72 |
| 17. | Resultado N°2: CAS Parte 1 . . . . .                                          | 72 |
| 18. | Resultado N°2: CAS Parte 2 . . . . .                                          | 73 |
| 19. | Resultado N°2: CAS Parte 3 . . . . .                                          | 73 |
| 20. | Pantalla 5 Portal Automatización . . . . .                                    | 75 |
| 21. | Gráfico de visualización de seguimiento de la aplicación . . . . .            | 82 |

## 1. Agradecimientos

Me gustaría partir agradeciendo a aquellas personas que hicieron que mi estadía en Metro fuera una de las mejores experiencias tanto a nivel laboral como personal, principalmente al equipo de Administración de Contratos que fue liderado por Gonzalo Barrionuevo, mi jefe durante 5 meses, quien me llevó a la empresa y me dio plena confianza para desarrollar mi trabajo de la forma en la que lo hice, respaldándome y haciéndome sentir que la herramienta que propusiera iba a ser un aporte a la empresa. Sin él, no habría sido posible continuar trabajando aquí ni vivir esta primera gran experiencia laboral.

No puedo no mencionar al equipo de Ingenieros de Gestión de Mantenimiento que me recibieron con la mejor disposición cuando llegué a su ubicación, y también hicieron de mi estadía una experiencia que no se remitía solo a lo laboral, sino que también fuera más entretenida.

A mis padres, que se preocuparon siempre desde muy chicos que ni a mí ni a mi hermano nos faltara nada, que nuestra única tarea fuera estudiar y realizar actividades que nos gustaban. En la universidad entendí en primera persona que no todos tienen la posibilidad de tener a sus padres para ayudarlos en todo, lo que me hizo valorar aún más mi realidad y ser un agradecido de lo que tengo, así que este título es para ellos.

A mis primos Francisco, Ricardo y Carla, quienes siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo ya sea para mis tareas del colegio, de la universidad o de mi vida privada, y donde todos ellos fueron parte importante para ayudar a preparar mi presentación de título.

Por último, a mis amigos del colegio que conozco hace casi 18 años, que fueron parte importante de todo este proceso, me ayudaron a desestresarme en los momentos más difíciles y siempre estuvieron presentes cuando los necesité.

## 2. Resumen ejecutivo

En la Gerencia de Mantenimiento (GMAN) de Metro de Santiago, la generación del Certificado de Aceptación de Servicios (CAS) y la Carta de Conformidad, documentos obligatorios para liberar el pago mensual a contratistas, se realiza de forma completamente manual, mediante la transcripción de parámetros críticos desde el Estado de Pago de Metro hacia las plantillas correspondientes.

Esta tarea demanda en promedio 20 minutos por contrato y, considerando los 27 contratos activos del área, acumula aproximadamente 108 horas anuales de trabajo administrativo no cognitivo. Los errores de transcripción generan una tasa de rechazo de 1 expediente mensual en el flujo de firmas, lo que compromete el cumplimiento de la meta institucional de liberar la Hoja de Entrada de Servicios (HES) dentro de 30 días, riesgo que se agrava en los contratos donde el contratista entrega su documentación con un desfase de 15 a 20 días respecto al cierre del período.

Frente a este escenario, el objetivo general de esta memoria es aplicar el ciclo DMAIC para diagnosticar el proceso de gestión de pagos a contratistas, identificar las causas raíz de los errores manuales y los cuellos de botella, y diseñar e implementar una aplicación web de despliegue local que automatice la generación de ambos documentos, eliminando las desviaciones en parámetros críticos y reduciendo el tiempo del ciclo operativo.

Metodológicamente, el proyecto se desarrolló siguiendo las cinco fases del ciclo DMAIC. En la fase Definir se levantó la problemática mediante entrevistas con el Jefe de Contratos, identificando las actividades de mayor valor desplazadas por la tarea documental. En Medir se cuantificaron los tiempos de ciclo y la tasa de rechazo mediante juicio experto con administradores y analistas. En Analizar se empleó un diagrama de Ishikawa organizado en las 6M y un análisis de valor agregado, que revelaron que 6 de las 11 actividades del flujo no agregan valor. En Mejorar se diseñó e implementó un portal usando el lenguaje de programación Python y el marco de trabajo de código Streamlit compuesto por tres motores: extracción de datos, reglas de negocio para imputación presupuestaria

y generación documental; validado sobre 8 servicios piloto. Finalmente, en Controlar se definieron tres indicadores de seguimiento con metas, fórmulas y responsables asociados.

Los resultados de la prueba controlada, realizada sobre 48 documentos correspondientes a expedientes históricos ya aprobados, muestran una reducción del tiempo de ciclo de generación (TCG) de 20 a 2 minutos por contrato (90 % de reducción, superando la meta de 75 %), una liberación de Horas-Hombre (HHL) de 2,4 horas mensuales sobre el piloto, con un potencial de 8,1 horas mensuales si se escala a los 27 contratos del área, y una Tasa de Documentos sin Corrección posterior (TDC) del 100 % sobre la muestra evaluada. Adicionalmente, la herramienta detectó y corrigió de forma estructural omisiones menores presentes en documentos históricos que no habían generado rechazo formal pero sí representaban riesgo ante fiscalizaciones.

Se concluye que la intervención logró el objetivo central identificado por el área: desplazar el rol del administrador de contrato desde la digitación hacia la validación, liberando tiempo para actividades de mayor valor agregado como la administración sustantiva del contrato y el control presupuestario. La sostenibilidad de esta mejora, sin embargo, depende de condiciones que exceden el alcance técnico de esta memoria: la actualización disciplinada de la base de datos maestra por parte de los administradores de contrato, la extensión del piloto a los 19 contratos restantes y, especialmente, el despliegue de la herramienta en un servidor institucional gestionado por el área de Tecnologías de la Información, que permita su acceso centralizado sin depender de instalaciones locales individuales.

### 3. Introducción

La gestión documental en organizaciones de gran escala representa uno de los focos más persistentes de ineficiencia operacional. Cuando los procesos administrativos dependen de la transcripción manual de datos entre formularios, la variabilidad en los resultados y la exposición al error humano son consecuencias estructurales, no excepciones. Esta realidad es especialmente crítica en contextos donde los documentos generados tienen valor contractual y deben respaldar decisiones financieras ante auditorías internas, pues un error de digitación no solo retrasa un trámite sino que puede comprometer la validez del respaldo documental completo.

En este escenario, la automatización de procesos documentales emerge como una respuesta técnica concreta. El desarrollo de herramientas basadas en lenguajes de programación de código abierto permite construir soluciones ajustadas al proceso real de una organización, integrando fuentes de información dispersas en un flujo único que extrae, valida y genera documentos sin intervención manual en las etapas que no requieren juicio profesional. Esta aproximación no solo reduce el tiempo de ciclo operativo, sino que desplaza el rol del trabajador desde la digitación hacia la supervisión, recuperando capacidad cognitiva para las tareas que sí demandan criterio y decisión.

El presente trabajo aplica esta lógica al proceso de gestión de pago a contratistas en el área de Administración de Contratos de la Gerencia de Mantenimiento de Metro de Santiago. El área administra un conjunto de contratos de servicios con ciclo de pago mensual, cuya tramitación exige la generación de dos documentos de certificación por parte de Metro: el Certificado de Aceptación de Servicios (CAS) y la Carta de Conformidad. Ambos documentos se elaboran actualmente de forma manual, consumiendo tiempo de trabajo administrativo que podría destinarse a funciones de mayor valor para la gestión del área y exponiendo el proceso a errores de transcripción con consecuencias directas sobre el cumplimiento de los plazos institucionales de pago.

Para abordar este problema, el trabajo adopta el ciclo DMAIC como metodología estructurante. Esta elección no es meramente formal: el DMAIC impone una disciplina

que obliga a cuantificar el estado actual antes de diseñar cualquier solución, a identificar causas raíz antes de implementar cambios, y a establecer mecanismos de control que sostengan los beneficios obtenidos más allá del período de intervención. La automatización es, en este marco, una consecuencia del diagnóstico y no su punto de partida.

La memoria se organiza siguiendo las cinco fases del ciclo. Los capítulos de Metodología documentan el levantamiento del proceso actual, la cuantificación de sus ineficiencias, el análisis de causas raíz y el diseño e implementación del portal de automatización. El capítulo de Resultados presenta la evidencia de la prueba controlada realizada sobre documentación histórica real del área. Las Conclusiones sintetizan los hallazgos y delimitan las condiciones necesarias para la sostenibilidad de la solución más allá del período de tesis.

#### 4. Problema de investigación

El problema de investigación se sitúa en la gestión documental del proceso de pago a contratistas en el área de Administración de Contratos de la Gerencia de Mantenimiento (GMAN) de Metro de Santiago. Este proceso culmina con la liberación de la Hoja de Entrada de Servicios (HES), cuyo plazo máximo institucional es de 30 días desde el cierre del período de servicio. Dentro de este ciclo, una etapa concentra una porción considerable del tiempo de trabajo administrativo: la generación manual de los dos documentos de certificación que Metro debe emitir por cada contrato mensual, el Certificado de Aceptación de Servicios (CAS) y la Carta de Conformidad.

La elaboración de ambos documentos requiere que el administrador de contrato construya el Estado de Pago Metro una vez que la propuesta del contratista fue aceptada por el área operativa correspondiente, extraiga manualmente los parámetros críticos, como el número de contrato y pedido abierto (los que funcionan como identificador único de cada contrato), monto neto en UF, paridad de la moneda, fecha de la moneda, período de pago, número de EdP, entre otros; y los transcriba de forma independiente en cada plantilla. Esta operación demora en promedio 20 minutos por contrato, con variaciones que oscilan entre 15 minutos en los casos más simples y 30 minutos en contratos con múltiples combinaciones contables a las que imputar los gastos, según lo relevado mediante entrevistas con administradores y analistas del área.

Considerando que el área administra actualmente 27 contratos activos, la carga mensual acumulada de esta tarea alcanza aproximadamente 540 minutos, equivalentes a 9 horas de trabajo administrativo dedicadas exclusivamente a la transcripción y elaboración de estos dos documentos. Proyectada al año, esta cifra supera las 108 horas, más de 13 jornadas laborales completas de 8 horas, invertidas en una actividad que no requiere juicio profesional sino precisión en la copia de datos ya disponibles en otro documento.

La gravedad del problema no reside únicamente en el volumen de tiempo consumido, sino en las consecuencias operacionales que genera cuando la transcripción produce errores. Un valor incorrecto en el monto neto, una paridad desactualizada o un número

de contrato con un dígito equivocado obliga a rehacer el documento y reiniciar el flujo de firmas, consumiendo tiempo adicional dentro de un margen ya reducido. Esta situación no es hipotética: el Ingeniero de Gestión del área, quien actúa como primer revisor del paquete documental antes de que este llegue al Subgerente, reportó haber devuelto 5 procesos en los 5 meses que lleva en el cargo, equivalente a una tasa de rechazo de 1 proceso mensual atribuible a inconsistencias en la documentación generada manualmente. Cada rechazo implica que el administrador debe corregir el documento, reiniciar el flujo de aprobación y absorber el tiempo adicional dentro del margen ya comprometido por el desfase de entrega del contratista, agravando directamente el riesgo de incumplimiento del plazo institucional de 30 días.

Este escenario configura un problema de doble dimensión: por un lado, una ineficiencia operacional cuantificable en horas de trabajo no cognitivo que podrían reasignarse a tareas de supervisión y control de mayor valor; por otro, un riesgo de calidad documental que amenaza el cumplimiento del plazo institucional y la consistencia del respaldo ante fiscalizaciones. Ambas dimensiones son susceptibles de ser abordadas mediante un diagnóstico estructurado y una intervención de mejora orientada a eliminar las causas raíz identificadas. En este contexto, el presente trabajo formula las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles son las causas raíz de los errores manuales y los cuellos de botella en el proceso actual de generación de documentos de pago a contratistas en GMAN, y en qué etapas se concentra la mayor pérdida de tiempo operacional?

2. ¿Qué parámetros del proceso de pago son extraíbles de forma automática y confiable desde el Estado de Pago de Metro, y cuáles requieren necesariamente la intervención y el juicio del administrador de contrato?

3. ¿Es posible diseñar e implementar una herramienta de automatización que genere el CAS y la Carta de Conformidad a partir de los datos extraídos, garantizando que los documentos resultantes cumplan con los estándares de formato y contenido exigidos por Metro de Santiago?

4. ¿De qué manera puede integrarse un mecanismo de validación automática en

el flujo de generación documental que contraste los parámetros extraídos con la base de datos maestra de contratos, permitiendo detectar inconsistencias antes de la emisión del documento y reduciendo así el riesgo de rechazo en el flujo de firmas?

**Palabras clave:** DMAIC, automatización documental, Lean Six Sigma, Ishikawa, Streamlit, Control de Calidad.

## 5. Objetivos

### 5.1. Objetivo General

Aplicar el ciclo DMAIC para diagnosticar el actual proceso de gestión de pagos a contratistas en el área de Administración de Contratos de Metro de Santiago, identificando las causas raíz de los errores manuales y cuellos de botella, para diseñar e implementar una aplicación web de despliegue local usando Python que automatice la generación de la Carta de Conformidad y el Certificado de Aceptación de Servicios (CAS), eliminando las desviaciones en parámetros críticos y reduciendo el tiempo del ciclo operativo para contribuir al cumplimiento de la meta institucional para la liberación de la Hoja de Entrada de Servicios (HES) en 30 días.

### 5.2. Objetivos Específicos

- Mapear y documentar el proceso actual de gestión de pago a contratistas, identificando los cuellos de botella mediante entrevistas al equipo de Administración de Contratos para establecer la línea base del proyecto y delimitar el alcance de las mejoras a implementar.
- Cuantificar los tiempos de ciclo por etapa (desde la recepción de documentación del contratista hasta la liberación de la HES) y la tasa de rechazo en el flujo de firmas por errores manuales en el CAS y la Carta de Conformidad, a través de entrevistas estructuradas a administradores y analistas de contrato como fuente de juicio experto con el fin de establecer métricas objetivas de línea base que permitan evaluar cuantitativamente el impacto de la solución implementada.
- Identificar las causas raíz de los errores manuales y determinar qué parámetros críticos son extraíbles automáticamente desde el Estado de Pago de Metro (EdP), utilizando herramientas de diagnóstico de calidad y análisis de valor agregado para fundamentar la arquitectura de la nueva solución informática.
- Desarrollar e implementar una aplicación web de despliegue local que integre la

lectura paramétrica de los Estados de Pago y su cruce algorítmico con la base de datos maestra de contratos, para generar automáticamente los documentos estandarizados, mitigar errores de tipeo y contraer el tiempo de elaboración.

- Implementar un sistema de control de calidad sostenible compuesto por un módulo de validación interactivo que alerta sobre inconsistencias paramétricas previo a la emisión de documentos, y un panel de monitoreo de indicadores clave de desempeño con registro automático de ejecuciones, para evidenciar el impacto de la mejora en el tiempo y asegurar la continuidad operativa del proceso automatizado.

## 6. Alcance

El alcance de este proyecto se delimita al diseño, desarrollo e implementación de un piloto funcional de automatización documental, dirigido específicamente a un subconjunto crítico de contratos de la Gerencia de Mantenimiento (GMAN). Este piloto se aplicará a 8 servicios en los cuales la parte contratista entrega de manera regular su documentación de respaldo con un desfase de 15 a 20 días posteriores a la finalización del servicio, o bien, respecto al último día del mes cursado. La elección de este segmento se justifica por su alta sensibilidad temporal: al recibir los antecedentes con este nivel de demora, el margen de holgura interno para procesar el pago dentro de la meta institucional de 30 días es mínimo, haciendo crítica la necesidad de optimizar los tiempos de gestión posteriores a la recepción.

En términos operativos, la herramienta desarrollada asistirá de manera directa a los administradores y analistas de contratos, absorbiendo la carga de trabajo asociada a la extracción de datos y la generación de los documentos de pago (Certificado de Aceptación de Servicios y Carta de Conformidad). El alcance tecnológico finaliza en la consolidación del documento, dejando como único paso humano requerido la revisión manual y la firma por parte de los responsables. El sistema no reemplazará el criterio profesional ni la validación final, sino que actuará como un facilitador del flujo de trabajo.

Mediante esta delimitación, el proyecto busca transformar el rol del analista desde la digitación hacia la validación. Esto permite erradicar desperdicios operacionales (actividades que no agregan valor) que, aunque de forma aislada pueden parecer mínimos o tolerables, en el volumen agregado generan mermas de tiempo significativas para el departamento. Asimismo, el alcance de esta automatización asegura la eliminación de fallas humanas básicas y totalmente evitables, como los errores de tipeo en montos, fechas o paridades, garantizando que la revisión final fluya sin retrabajos y protegiendo el cumplimiento de los plazos de liberación de la Hoja de Entrada de Servicios (HES).

## **7. Marco teórico**

El presente capítulo expone los fundamentos conceptuales y metodológicos que sustentan el desarrollo de esta investigación. Se abordan las metodologías de diagnóstico empresarial, los paradigmas de automatización y las tecnologías específicas utilizadas para el rediseño del flujo de pago a contratistas.

### **7.1. Metodologías de Mejora continua y Calidad**

#### **7.1.1. Ciclo DMAIC**

DMAIC, acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), es el ciclo de mejora estructurado que opera como hoja de ruta metodológica dentro del paradigma Lean Six Sigma. Permite analizar y optimizar procesos de forma sistemática mediante el uso de datos, con el propósito de reducir el desperdicio, la variación y los tiempos de ciclo del proceso intervenido (Monday, 2022). A diferencia de enfoques basados en la intuición o la experiencia del equipo, el DMAIC impone una disciplina que obliga a sustentar cada decisión en evidencia cuantitativa, garantizando que las soluciones respondan a causas verificadas y no a supuestos no validados. El marco filosófico y las herramientas que nutren cada una de sus fases provienen del paradigma Lean Six Sigma, cuyo desarrollo se aborda en la sección siguiente.

En la fase Definir se delimita con precisión el problema a resolver, identificando los actores involucrados y los criterios de éxito del proyecto.

La fase Medir cuantifica el estado actual mediante indicadores operacionales, estableciendo la línea base desde la cual se evaluará el impacto de las mejoras.

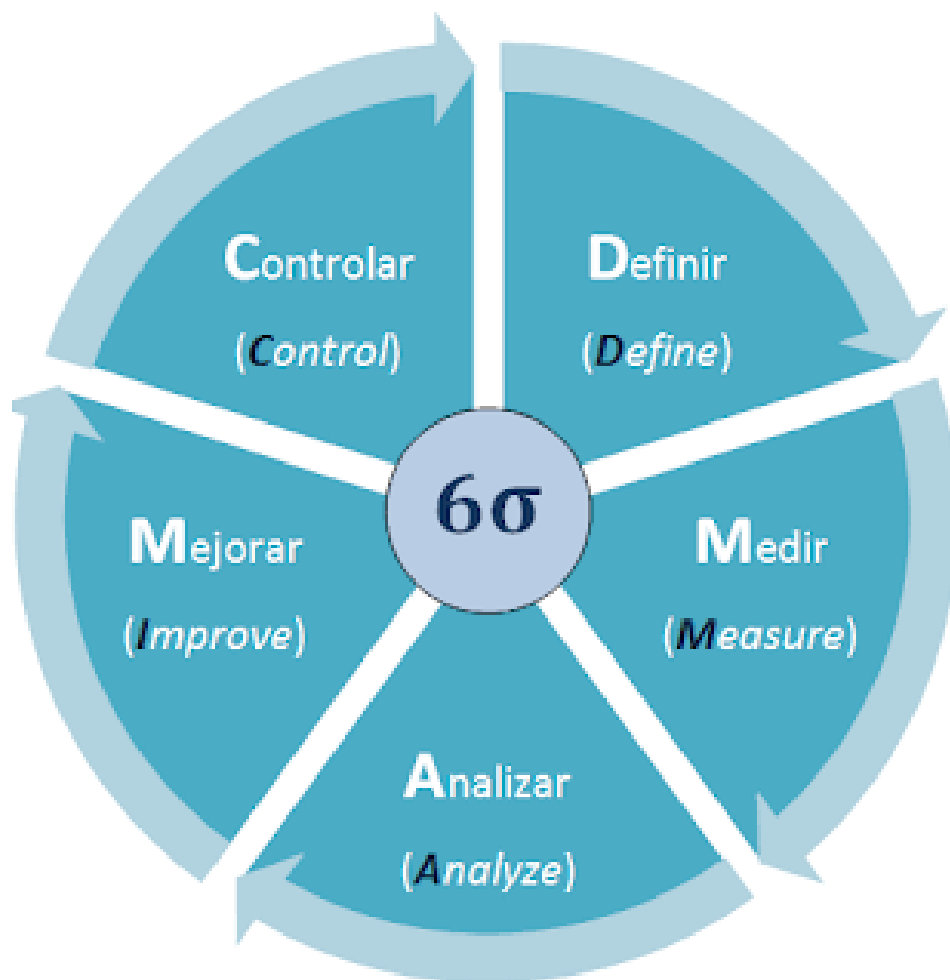
La fase Analizar emplea herramientas diagnósticas para identificar las causas raíz de las ineficiencias, evitando soluciones que no abordan el problema de fondo.

La fase Mejorar diseña e implementa los cambios necesarios.

Finalmente, la fase Controlar institucionaliza las mejoras mediante mecanismos de monitoreo continuo que impiden la regresión al estado previo. La aplicación del ciclo DMAIC ha demostrado producir mejoras concretas y medibles en distintos contextos de

servicios y logística. Adeodu et al. (2023) evidencian que su uso en entornos de almacenamiento y distribución genera reducciones significativas en tiempos de ciclo y en la proporción de actividades sin valor agregado, lo que confirma la eficacia del enfoque para diagnosticar y eliminar ineficiencias documentadas con datos. Sundram et al. (2023) complementan este panorama con evidencia de que el DMAIC mejora la eficiencia operacional y contrae los tiempos de ciclo en operaciones de servicio complejas, demostrando su transferibilidad desde entornos industriales hacia procesos de carácter administrativo.

**Figura 1:** Ciclo DMAIC



Fuente: <https://ctcalidad.blogspot.com/2016/06/dmaic-las-5-fases-del-proceso-de.html>

### 7.1.2. Lean Six Sigma

El ciclo DMAIC descrito en la sección anterior no es una metodología autónoma, sino la expresión operativa de un paradigma más amplio: Lean Six Sigma. Comprender este marco es fundamental para entender por qué el DMAIC estructura las fases del proyecto de la manera en que lo hace y qué filosofía orienta la selección de sus herramientas. Lean Six Sigma integra dos corrientes complementarias de mejora de procesos cuya convergencia define tanto los objetivos como los instrumentos de diagnóstico e intervención (Monday, 2022).

La corriente Lean, originada en el Sistema de Producción de Toyota y consolidada como metodología de gestión a partir de los trabajos de Womack y Jones en los años noventa, se centra en identificar y eliminar actividades que no agregan valor al cliente, denominadas desperdicios o muda, para mejorar la velocidad y eficiencia del flujo de trabajo. Six Sigma, por su parte, desarrollado originalmente en Motorola y popularizado por General Electric en los años noventa, busca reducir la variación de los resultados del proceso mediante análisis estadístico riguroso, expresando su meta en términos de defectos por millón de oportunidades. La fusión de ambos enfoques bajo el paradigma Lean Six Sigma permite abordar simultáneamente la eficiencia del flujo y la calidad del resultado, objetivos que en procesos documentales son igualmente críticos: no basta con generar documentos rápidamente si estos presentan errores, ni con generarlos sin errores si el ciclo total excede el plazo institucional (Monday, 2022).

La evidencia empírica respalda la eficacia de Lean Six Sigma en procesos de manufactura y servicios. Daniyan et al. (2022) documentan su aplicación en contextos productivos y de servicio, observando aumentos relevantes del tiempo dedicado a actividades de valor agregado y una reducción significativa del tiempo de reproceso tras la implementación del ciclo DMAIC bajo el marco Lean Six Sigma. Estos resultados confirman que la combinación de la eliminación de desperdicios Lean con el rigor estadístico de Six Sigma, canalizados a través del ciclo DMAIC, produce mejoras que ninguno de los dos enfoques lograría de forma aislada.

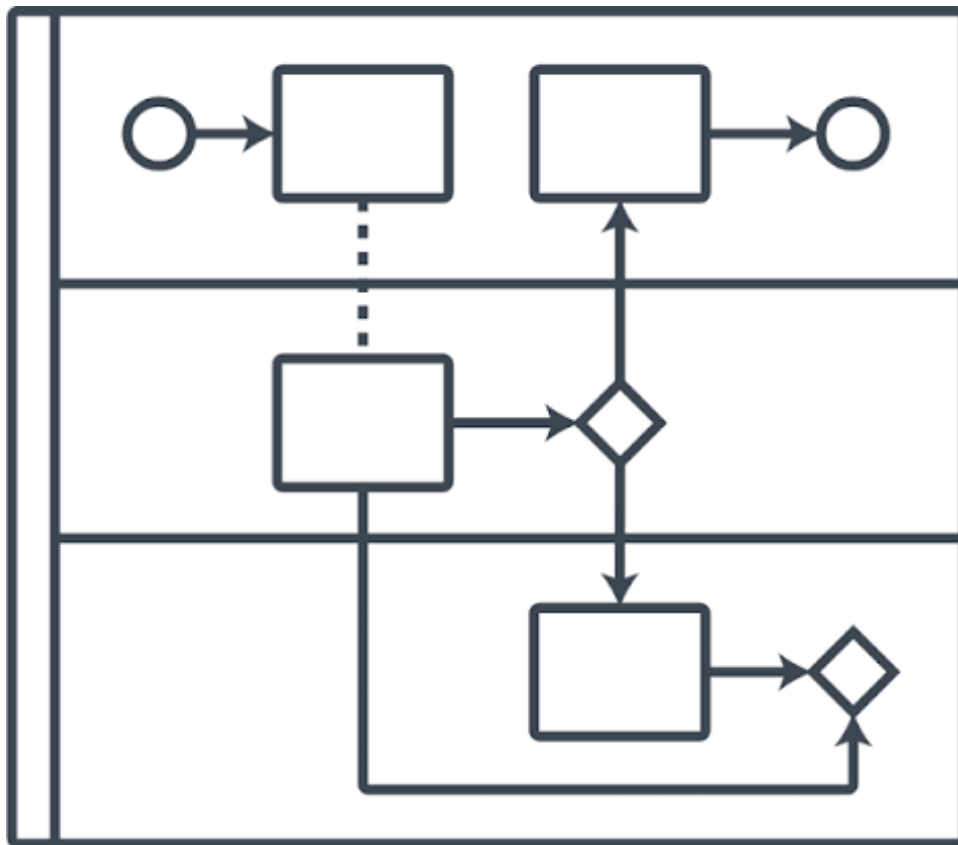
## **7.2. Modelamiento y Diagnóstico de procesos**

### **7.2.1. BPMN**

La Notación para el Modelado de Procesos de Negocio (Business Process Model and Notation, BPMN) es una notación gráfica estandarizada para modelar y visualizar procesos de negocio, cuyo propósito es facilitar la comprensión y la comunicación entre los distintos actores involucrados en el diseño y mejora de un proceso. Publicada y mantenida por el Object Management Group (OMG), la notación define un conjunto de símbolos estandarizados que describen con precisión actividades, flujos de decisión, eventos y participantes.

Los elementos fundamentales de BPMN se organizan en cuatro categorías: objetos de flujo (actividades, compuertas de decisión y eventos), objetos de conexión (flujos de secuencia, flujos de mensaje y asociaciones), carriles (pools y lanes para representar participantes y responsabilidades) y artefactos (anotaciones y agrupaciones). BPMN se emplea para mapear procesos administrativos y de servicio, identificando cuellos de botella y proponiendo mejoras sobre la base de una representación visual compartida (Moura y Delbem, 2025).

**Figura 2:** Ejemplo de Diagrama BPMN



Fuente: <https://www.lucidchart.com/pages/es/bpmn-bpmn-20-tutorial>

### 7.2.2. Métricas de desempeño (KPI)

Los indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators, KPI) son medidas cuantificables del rendimiento de un proceso en relación con objetivos estratégicos previamente definidos. Se definen sobre modelos de proceso y se monitorizan para evaluar el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo (Calabrò y Lonetti, 2015). En el marco del ciclo DMAIC, los KPI cumplen una función dual: establecen la línea base del estado actual en la fase Medir y permiten comparar el desempeño antes y después de la intervención en la fase Controlar, evidenciando el impacto real de las mejoras implementadas.

Para que los KPI sean efectivos como instrumento de mejora e innovación de procesos, deben ser significativos, alineados a los objetivos estratégicos de la organización

y apoyados en un lenguaje común que facilite su interpretación por parte de los distintos actores del proceso. En este sentido, el uso de BPMN como soporte para la definición de KPI permite anclar cada indicador a una actividad específica del modelo de proceso, facilitando tanto su medición como su interpretación operacional (Banu et al., 2018).

### **7.2.3. Juicio experto**

En investigaciones donde ciertas métricas de los procesos humanos no pueden obtenerse mediante bases de datos, ya sea porque no existen registros, porque la información disponible es incompleta o porque los fenómenos de interés son difíciles de observar directamente, el juicio experto constituye una estrategia metodológica válida para producir información cuantitativa sobre cantidades inciertas (Hanea y Nane, 2019)

La elicitación de expertos se entiende como un conjunto de procedimientos formales orientados a recoger y combinar las creencias de especialistas en forma de probabilidades o distribuciones, con el fin de apoyar la modelación, la inferencia estadística y la toma de decisiones en contextos de incertidumbre (Colson y Cooke, 2018).

Su valor radica en que permite hacer explícito un conocimiento que en la práctica suele permanecer implícito, disperso o no documentado, transformándolo en datos utilizables y reproducibles (Post y Anderson, 2026). No obstante, la literatura señala que estas estimaciones deben obtenerse mediante protocolos estructurados, ya que los expertos también pueden verse afectados por sesgos, sobreconfianza y diferencias en la interpretación de las preguntas (Morgan, 2014). Por ello, se recomienda formular preguntas con significado operativo, separar el rol de expertos y decisores, documentar el proceso de selección de participantes y recoger la incertidumbre asociada a cada estimación, más que limitarse a solicitar valores puntuales (Hanea y Nane, 2019).

### **7.2.4. Voice of process**

La Voice of Process (VoP) se refiere a la información que entrega el propio proceso sobre su desempeño, sus variaciones y sus restricciones, y se usa para comprender cómo funciona realmente una operación más allá de la percepción de clientes o usuarios. En

enfoques de mejora como Lean Six Sigma, esta voz se construye con métricas, datos base, mapas de proceso y herramientas de análisis, porque la mejora sostenible exige medir primero el comportamiento actual antes de proponer cambios (Monday, 2022).

La VoP permite identificar demoras, errores, desperdicios y fuentes de variación a partir de evidencia del proceso mismo, no solo desde opiniones externas. Su utilidad aumenta cuando se integra con otras perspectivas, como la voz del cliente, porque esa combinación ayuda a conectar las expectativas del servicio con las limitaciones operativas reales (Alowad et al., 2020). La VoP no solo describe lo que ocurre, sino que orienta el análisis de causa raíz y la priorización de mejoras sobre aspectos observables y medibles del proceso

La interpretación de la VoP requiere la participación de quien está a cargo del proceso, porque los procesos deben documentarse y sus responsables deben identificarse antes de poder validarse, gestionarse y mejorarse (Pryor, 2011). La literatura sobre gestión por procesos muestra que el process owner es un actor clave en la gobernanza del proceso, ya que su rol concentra responsabilidades, facilita la coordinación y hace posible una gestión efectiva de la mejora (Danilova, 2018).

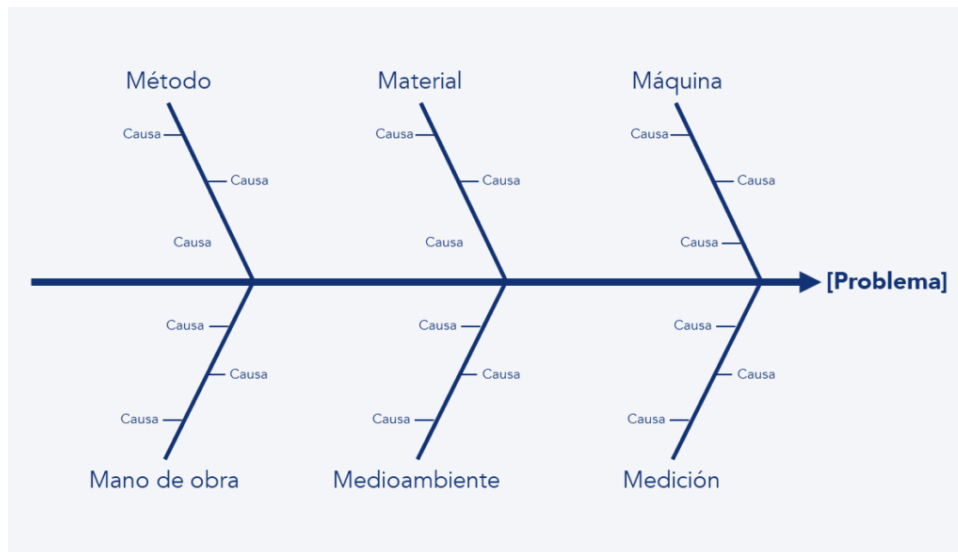
### **7.3. Análisis de causas y Generación de valor**

#### **7.3.1. Diagrama de Ishikawa (Causa efecto)**

El diagrama de Ishikawa, también denominado diagrama de causa-efecto o diagrama de espina de pescado en referencia a su morfología visual, es una herramienta gráfica para el análisis de causa raíz que representa de manera estructurada las posibles causas de un problema de calidad (Fleiner y Yang, 2025). Desarrollado por el ingeniero japonés Kaoru Ishikawa en el contexto de la gestión de calidad de la industria japonesa, el diagrama organiza las causas en categorías principales —típicamente las 6M: Método, Máquina, Material, Mano de obra, Medición y Medio ambiente— y las desagrega en causas específicas mediante un proceso de análisis iterativo.

El diagrama de Ishikawa es uno de los instrumentos más ampliamente utilizados en la mejora continua y, específicamente, en la fase Analizar de proyectos DMAIC para estructurar el análisis de causas y guiar el proceso de generación de hipótesis sobre el origen de las desviaciones del proceso. Su valor principal reside en que obliga al equipo a ir más allá de las causas superficiales visibles y explorar sistemáticamente los factores que las originan, generando una comprensión compartida del problema que sustenta decisiones de mejora más efectivas (Barsalou y Starzyska, 2023).

**Figura 3:** Diagrama causa-efecto de Ishikawa



Fuente: <https://kaizen.com/es/insights-es/diagrama-ishikawa-analisis-causa-raiz/>

### 7.3.2. Análisis de valor agregado

El análisis de valor agregado es una herramienta del pensamiento Lean que clasifica cada actividad de un proceso en tres categorías según su contribución al resultado final: actividades que agregan valor al cliente, actividades necesarias para el negocio pero no percibidas por el cliente, y actividades que no agregan valor de ninguna clase y constituyen desperdicio puro. La aplicación sistemática de este análisis sobre el mapa de proceso permite identificar con precisión qué actividades deben preservarse, cuáles deben simplificarse y cuáles deben eliminarse o automatizarse.

Estudios de Lean Six Sigma en procesos complejos demuestran que al distinguir entre actividades de valor agregado y sin valor agregado, y al intervenir sobre estas últimas, se obtienen aumentos relevantes del tiempo dedicado a trabajo de valor y una reducción significativa de los tiempos de reproceso y espera (Daniyan et al., 2022). Este resultado es consistente con la lógica del ciclo DMAIC: la fase Analizar identifica las actividades sin valor, y la fase Mejorar las elimina o automatiza, reasignando el tiempo liberado hacia las actividades que realmente requieren juicio profesional.

### 7.3.3. Teoría del Error humano en transcripción de datos

Los errores en datos administrativos no son fenómenos aleatorios ni exclusivamente atribuibles al descuido individual: tienen causas raíz estructurales que pueden identificarse y clasificarse de manera sistemática. Carvalho y Lobo (2021) proponen un modelo de análisis que organiza estas causas en tres categorías principales.

La primera agrupa factores asociados al personal, como el nivel de conocimiento del operador, la formación recibida y la cultura organizacional respecto a la calidad del dato. La segunda categoría reúne factores documentales, entre los que se destacan el diseño de los formularios, la ausencia de estandarización entre plantillas y la ambigüedad en los campos de captura. La tercera categoría comprende los sistemas de información involucrados: su grado de integración, la trazabilidad que ofrecen y el nivel de automatización de las transferencias de datos entre ellos.

Lo que este modelo revela es que cuando un proceso obliga a un operador a copiar manualmente información entre documentos distintos, las tres categorías de causas actúan de forma simultánea y acumulativa. La carga cognitiva de la transcripción repetitiva bajo presión de plazos degrada el desempeño del personal incluso con alta capacitación; los formularios sin estructura predefinida amplifican la variabilidad de la captura; y la ausencia de integración entre sistemas hace que la misma información deba introducirse múltiples veces en distintos soportes, multiplicando la exposición al error en cada transferencia (Carvalho y Lobo, 2021). La identificación sistemática de estas causas raíz, según los autores, es condición necesaria antes de diseñar cualquier intervención de automatización o rediseño del proceso, puesto que una solución que no aborda las causas estructurales solo traslada el problema sin eliminarlo.

## **7.4. Tecnologías de automatización**

### **7.4.1. Lenguajes de código abierto en la industria**

Los lenguajes de programación de código abierto se han consolidado como la principal alternativa tecnológica para la automatización de procesos administrativos y documentales en entornos organizacionales que buscan combinar flexibilidad técnica, adaptación local y bajo costo de implementación (Chauhan et al., 2025). En particular, Python aparece de forma reiterada en la literatura como una herramienta capaz de automatizar recolección, procesamiento y análisis de datos, además de generar reportes y documentos con menor tiempo y menor probabilidad de error (Gubasheva et al., 2024).

Su adopción no se limita a tareas analíticas. También se ha aplicado a gestión de archivos y documentos, automatización de tareas cotidianas, control documental y construcción de entornos de oficina automatizados (Galimullin, 2024). En un caso de control documental, Python se combinó con `python-docx` y `pandas` para diseñar un entorno abierto capaz de verificar secciones típicas de documentos y adaptarse a distintos requerimientos de validación (Kobzareno et al., 2021).

La ventaja principal de estos ecosistemas es que permiten desarrollar soluciones ajustadas al proceso real en vez de forzar el proceso a las restricciones de una herramienta cerrada (Funk et al., 2023). Esa adaptabilidad se asocia además con mejoras en eficiencia, reducción de errores y ahorro de tiempo y recursos en distintos contextos organizacionales. Como contrapartida, la literatura también indica que estos desarrollos exigen capacidades internas de integración, mantenimiento, monitoreo y estandarización para sostener su desempeño en entornos reales (Chauhan et al., 2025).

### **7.4.2. Manipulación masiva de datos**

El procesamiento eficiente de grandes volúmenes de datos tabulares es un requisito técnico central en sistemas de automatización documental que operan sobre registros estructurados, porque la preparación de datos implica transformar, limpiar y convertir datos crudos a formatos utilizables para análisis y ejecución de procesos (Mozzillo, 2023).

En el ecosistema Python, este trabajo suele apoyarse en librerías orientadas a estructuras DataFrame, que se han consolidado como abstracciones populares para representar, preparar y analizar datos. (Petersohn, 2020; McKinney, 2011)

Una de las más importantes es pandas, una librería fundacional de Python para trabajar con conjuntos de datos estructurados y ofrece estructuras de datos ricas e intuitivas para manipulación y análisis (McKinney, 2011). Su estructura DataFrame corresponde a una tabla bidimensional similar a una hoja de cálculo y constituye una herramienta de uso extendido en ciencia de datos y aprendizaje automático (Safina, 2023). Además, los DataFrames son el estándar de facto para almacenar y procesar grandes volúmenes de datos estructurados, y pandas es la API más usada en Python para manipularlos por su popularidad y amplitud funcional (Mozzillo, 2023).

En flujos de automatización, pandas resulta especialmente útil para etapas de extracción, transformación y preparación de datos, porque sus rutinas integradas permiten realizar manipulaciones comunes sobre datos estructurados de manera concisa (McKinney, 2011; Bantilan, 2020). Como límite importante, la evidencia también señala que pandas presenta problemas de rendimiento y escalabilidad en datasets moderadamente grandes, y que muchas de sus operaciones son de un solo hilo, lo que ha motivado sistemas escalables complementarios como Modin (Petersohn, 2020; Mozzillo, 2023).

#### **7.4.3. Desarrollo de Interfaces Web declarativas**

Streamlit es un framework de Python para construir aplicaciones web de datos interactivas y, de acuerdo con las fuentes disponibles, destaca porque permite desarrollar este tipo de interfaces sin programación front-end explícita (Lamstein, 2025; Botrous, 2025). Distintos trabajos lo describen como una librería o framework de código abierto que transforma scripts de Python en aplicaciones web interactivas para visualización, análisis y exploración de datos (Vennela y Pushpalatha, 2024).

Su utilidad práctica aparece en dashboards con gráficos, filtros, tablas y opciones de exploración dinámica, orientados a mejorar la accesibilidad, usabilidad y análisis de datos por parte de usuarios no especializados. La literatura también lo presenta como

una herramienta de código breve y despliegue ágil para aplicaciones de datos, con casos de uso en educación, reporting institucional y seguimiento de requerimientos (Pilante et al., 2024)

#### **7.4.4. Arquitectura de Despliegue Local (Localhost)**

La arquitectura de despliegue local consiste en ejecutar la aplicación directamente en la estación de trabajo del usuario, en lugar de depender de un servidor centralizado accesible por red.

Este enfoque permite que cada usuario opere la herramienta desde su propio equipo, favoreciendo un uso simultáneo e independiente entre distintos puestos de trabajo. Desde una perspectiva de desempeño, los entornos locales se asocian a tiempos de respuesta competitivos, escalabilidad bajo carga y control directo sobre los recursos de ejecución, por lo que su rendimiento depende principalmente del hardware disponible en el equipo cliente (Chandra y Setyaningsih, 2025).

Esta ventaja es consistente con estudios sobre sistemas concurrentes en redes privadas, donde arquitecturas livianas muestran baja latencia, throughput estable y uso eficiente de recursos en escenarios con múltiples clientes (Agrawal et al., 2025).

No obstante, la replicación de la instalación en cada estación de trabajo introduce exigencias de configuración y mantenimiento que limitan su conveniencia como solución definitiva a escala institucional

## **7.5. Aseguramiento de la Calidad y Sostenibilidad**

### **7.5.1. Poka-Yoke (Ingeniería preventiva)**

El concepto Poka-Yoke designa dispositivos o sistemas diseñados «a prueba de errores» que previenen o detectan defectos en el origen del proceso, alineados con la filosofía de Cero Defectos (Nogueira, 2025). Desarrollado por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en el contexto del Sistema de Producción de Toyota, el Poka-Yoke establece que el diseño del sistema de trabajo debe hacer que la comisión del error sea físicamente imposible o que su detección sea inmediata, en lugar de depender de la atención o la habilidad del operador.

En su forma clásica, los dispositivos Poka-Yoke son mecanismos físicos integrados en el proceso productivo. Sin embargo, en entornos digitales, el mismo principio se aplica mediante restricciones de diseño de la interfaz de usuario y mecanismos de validación automática. Soluciones recientes combinan visión artificial y algoritmos de aprendizaje profundo para crear Poka-Yoke digitales proactivos que bloquean la continuación del proceso cuando se detecta una condición incorrecta, actuando como dispositivos de control integrados en el flujo de trabajo (Martinelli et al., 2021). Este tipo de implementación demuestra que el principio Poka-Yoke es escalable desde el entorno físico industrial hacia entornos digitales de procesamiento documental.

### **7.5.2. Plan de Control**

En DMAIC, la fase Controlar exige seguimiento sistemático del desempeño del proceso, porque su función es evitar que la operación mejorada pierda estabilidad una vez implementados los cambios (Monday, 2022). Más que una revisión retrospectiva, este enfoque opera como un mecanismo preventivo, ya que el monitoreo regular de métricas permite detectar desempeño “fuera de control” y corregirlo antes de que la desviación se consolide. La literatura también describe esta etapa como la encargada de mantener las mejoras en el largo plazo mediante estrategias de control y sistemas de monitoreo (Zhang, 2025).

En procesos administrativos digitalizados, la sostenibilidad del nuevo método depende además de su documentación, estandarización y adopción operativa por los usuarios (Sutam et al., 2024). Otros estudios reportan que las mejoras se sostienen cuando el control incluye monitoreo continuo, auditorías periódicas y reentrenamiento del personal (Ramos, 2025). Por eso, en una automatización documental, este esquema de control puede implementarse como una pestaña de visualización de KPI con metas, responsables, frecuencia de revisión y acciones definidas ante desviaciones, convirtiendo el seguimiento en una rutina operativa y no en una reacción tardía frente a errores o reprocesos

## **8. Metodología**

El presente capítulo documenta la aplicación práctica del ciclo DMAIC al proceso de gestión de pago a contratistas de la Gerencia de Mantenimiento (GMAN) de Metro de Santiago. Cada fase del ciclo: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar; se desarrolla siguiendo la lógica expuesta en el marco teórico, traduciendo sus principios generales en actividades concretas de levantamiento, diagnóstico e intervención sobre el proceso real del área.

### **8.1. Definir el problema**

La fase Definir tiene como propósito delimitar con precisión el problema a abordar, identificar a los actores involucrados en el proceso y establecer los criterios que orientarán el resto del proyecto, antes de proceder a su cuantificación en la fase Medir. A diferencia de un diagnóstico basado en supuestos, esta fase exige que el problema emerja directamente de quienes operan y supervisan el proceso en la práctica diaria, de modo que la intervención posterior responda a una necesidad real y no a una percepción externa del equipo de mejora.

#### **8.1.1. Levantamiento de la problemática con el responsable del proceso**

Para confirmar y precisar el problema planteado preliminarmente en el capítulo de Problema de Investigación, se realizó una entrevista estructurada con el Jefe del área de Administración de Contratos de GMAN, en su calidad de responsable directo del proceso y de los recursos humanos que lo ejecutan. Esta instancia cumple, dentro de la fase Definir, la función metodológica de recoger la voz del proceso (Voice of Process): la perspectiva de quien supervisa el trabajo diario de los administradores de contrato y, por tanto, posee una visión privilegiada de dónde se concentran las ineficiencias y qué consecuencias tienen sobre la operación del área en su conjunto.

En dicha conversación, el Jefe de Contratos planteó como necesidades prioritarias: liberar horas hombre (HH) asociadas a trabajo manual de administradores y analistas en documentos de pago a contratistas; junto con tomar un plan de acción para 8 servicios

considerados críticos por sobrepasar la meta institucional de 30 días para la liberación de la HES. En ese sentido, se indica que la búsqueda de soluciones se debe enfocar en dejar de generar manualmente los documentos de certificación de pago, el Certificado de Aceptación de Servicios (CAS) y la Carta de Conformidad, señalando que estas tareas consumen una porción significativa del tiempo de los administradores de contrato, tiempo que, a su juicio, debería destinarse a actividades de mayor valor para la gestión del área. Por otro lado, menciona que como se trata de un proceso repetitivo, recurrente y 100 % manual, los documentos no han estado exentos de errores que provocan que cuando pasen al flujo de aprobación, estos sean rechazados y se reinicie el proceso.

El CAS es el documento interno principal del ciclo de pago: concentra la información del servicio prestado en el período, incluyendo el monto neto liquidado, el valor de la UF aplicada y la distribución del gasto entre las combinaciones de cuentas contables que corresponden a ese contrato. Actúa, en la práctica, como el respaldo financiero que habilita el pago en SAP y como el documento que el área presenta ante auditorías internas para acreditar que el servicio fue recibido conforme y que el gasto fue imputado correctamente. La Carta de Conformidad, en cambio, es un documento de naturaleza contractual dirigido al contratista y que luego se revisa internamente: certifica que los servicios del período fueron recibidos a satisfacción por Metro, indica el número de Estado de Pago al que corresponde y lleva la firma tanto del administrador de contrato de Metro como del representante de la empresa contratista. Su función es formalizar el acuerdo entre ambas partes antes de que el pago sea liberado, constituyendo el vínculo documental entre el ciclo interno de Metro y el contratista que ejecutó el servicio.

Estas apreciaciones, formuladas por quien tiene visibilidad directa sobre la carga de trabajo del equipo, constituye la validación cualitativa del problema que esta investigación aborda: el tiempo invertido en la elaboración manual de documentos no es percibido como una inversión necesaria, sino como un costo de oportunidad que desplaza otras funciones del cargo.

### 8.1.2. Actividades de mayor valor desplazadas por la tarea documental

De la conversación con el Jefe de Contratos se desprende que el tiempo absorbido por la generación manual del CAS y la Carta de Conformidad compite directamente con al menos cuatro funciones que conforman el núcleo de responsabilidades del administrador de contrato, y que constituyen actividades de mayor valor agregado para la gestión del área:

- **Administración sustantiva del contrato:** El rol del administrador de contrato no se limita a la tramitación documental del pago, sino que abarca el seguimiento del cumplimiento contractual, la coordinación con el contratista respecto a plazos y condiciones de servicio, la gestión de incidencias operativas y la actualización de los antecedentes del contrato ante cualquier modificación. Cuando una parte considerable de la jornada se destina a la transcripción de datos entre documentos, estas funciones de supervisión activa del contrato quedan postergadas o se ejecutan con menor profundidad.
- **Ingreso de pagos en SAP:** La habilitación de las Órdenes de Compra (OC) y Órdenes de Mantenimiento (OM) en el sistema SAP, paso final del ciclo de pago, requiere disponibilidad de tiempo del administrador para validar la información y realizar el ingreso correspondiente dentro de los plazos comprometidos. La sobrecarga generada por la elaboración manual de los documentos de respaldo reduce el margen disponible para esta tarea, generando presión adicional sobre el cumplimiento de los plazos de liberación.
- **Control presupuestario:** Los administradores de contrato son responsables de verificar la disponibilidad presupuestaria de los centros gestores y fondos asociados a cada contrato, así como de monitorear la ejecución del presupuesto comprometido a lo largo del año. Esta labor de control financiero, que requiere atención sostenida y revisión periódica, se ve directamente afectada cuando el tiempo disponible se concentra en la elaboración repetitiva de documentos de pago.

- **Propuestas de mejora para el área:** Finalmente, el Jefe de Contratos identificó que la sobrecarga operativa generada por las tareas documentales limita la capacidad del equipo para dedicar tiempo a la identificación y desarrollo de iniciativas de mejora continua dentro del área —incluyendo la estandarización de procedimientos, la revisión de plantillas o la propuesta de ajustes a los flujos de trabajo—, actividades que quedan sistemáticamente en un segundo plano frente a la urgencia de cumplir con la tramitación mensual de pagos.

Esta priorización expresada por el responsable del proceso es coherente con la lógica del análisis de valor agregado descrito en el marco teórico: la transcripción manual de datos entre documentos no agrega valor directo ni para el contratista ni para la organización, mientras que las cuatro actividades mencionadas sí lo hacen, ya sea porque sostienen la relación contractual, garantizan la correcta ejecución financiera del contrato, resguardan el uso del presupuesto institucional o contribuyen a la mejora continua de la gestión del área.

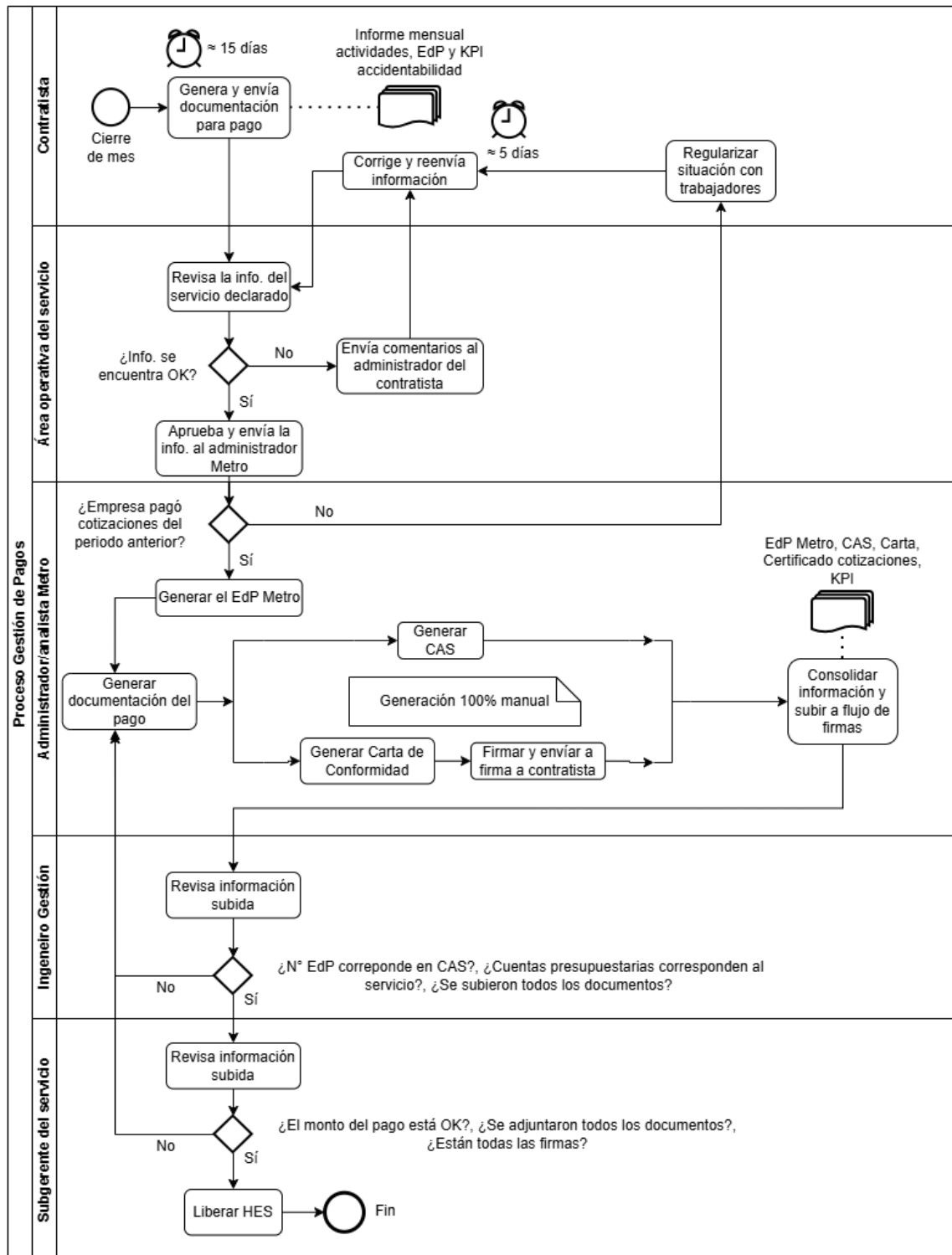
Finalmente, el levantamiento cualitativo realizado en esta fase permite establecer, desde la perspectiva de quien supervisa el proceso, que el problema no se limita a una percepción de lentitud o incomodidad operativa, sino que tiene un costo de oportunidad concreto sobre funciones que el área considera prioritarias. Esta validación cualitativa constituye el punto de partida sobre el cual se construirá, en la fase Medir, la cuantificación objetiva de los tiempos de ciclo y la carga de trabajo asociada a la generación documental, permitiendo contrastar la percepción del responsable del proceso con evidencia numérica recogida directamente de la operación del área.

### **8.1.3. Flujo actual de pago a contratistas**

La comprensión del costo de oportunidad descrito en la sección anterior, donde el tiempo invertido en la elaboración manual de documentos desplaza actividades de mayor valor como la administración sustantiva del contrato, el control presupuestario y el ingreso de pagos en SAP, requiere situar esa tarea dentro del flujo completo del proceso de pago, para identificar con precisión en qué etapa se produce la pérdida de tiempo y

qué actores se ven afectados. La Figura 4 presenta el diagrama BPMN del proceso actual, levantado a partir de la información recogida en la conversación con el Jefe de Contratos y organizado en cinco carriles que corresponden a los distintos actores que intervienen en el ciclo: el Contratista, el Área Operativa del Servicio, el Administrador/Analista Metro, el Ingeniero de Gestión y el Subgerente del Servicio.

**Figura 4:** Diagrama de flujo para pagos a contratistas



Fuente: Elaboración propia

El proceso se inicia con el cierre del mes de servicio, evento que activa la obligación del contratista de preparar y enviar su documentación de respaldo. Este paquete documental incluye el Informe Mensual de Actividades, el Estado de Pago (EdP) del contratista y el KPI de accidentabilidad, y en la práctica es remitido con un desfase aproximado de 15 días respecto al cierre del período, lo que reduce de forma inmediata el margen disponible para completar el ciclo dentro del plazo institucional de 30 días.

Una vez recibida la documentación, el Área Operativa del Servicio revisa que la información declarada por el contratista sea consistente con el servicio efectivamente prestado. Si la información no es correcta, se envían comentarios al administrador del contratista para que corrija y reenvíe la documentación, proceso que puede demorar hasta 5 días adicionales en resolverse. Solo cuando el área operativa aprueba la información y la envía al Administrador Metro el flujo puede continuar hacia la siguiente etapa.

El carril del Administrador/Analista Metro concentra la mayor densidad de actividades del proceso y es donde se sitúa el problema diagnosticado en esta fase. Antes de generar la documentación de pago, el administrador debe verificar si el contratista pagó las cotizaciones previsionales del período anterior; si no lo hizo, el proceso se detiene y el contratista debe regularizar su situación con sus trabajadores antes de que el flujo pueda continuar. Una vez superada esta verificación, el administrador genera el EdP Metro y procede a la elaboración de los documentos de certificación: el CAS y la Carta de Conformidad, ambos generados de forma 100 % manual mediante transcripción de datos desde el EdP del contratista hacia las plantillas correspondientes. Adicionalmente, la Carta de Conformidad debe ser firmada y enviada al contratista para su contrafirma antes de ser incorporada a la carpeta de pago. Una vez que ambos documentos están generados, el administrador consolida toda la documentación del período, EdP Metro, CAS, Carta de Conformidad, certificado de cotizaciones y KPI de accidentabilidad, y la sube al flujo de firmas vía Teams.

El proceso continúa con el Ingeniero de Gestión, quien revisa la información subida al flujo verificando tres condiciones: que el número de EdP corresponda al registrado en el CAS, que las cuentas presupuestarias sean consistentes con el servicio contratado y

que todos los documentos requeridos estén presentes. Si alguna de estas condiciones no se cumple, el flujo retrocede y el administrador debe corregir y resubir la documentación, generando un reproceso que consume tiempo adicional dentro del margen ya reducido por el desfase inicial del contratista.

Finalmente, el Subgerente del Servicio realiza la revisión final del expediente, verificando que el monto del pago sea correcto, que todos los documentos estén adjuntos y que todas las firmas requeridas estén presentes. Si la revisión es satisfactoria, se procede a la liberación de la Hoja de Entrada de Servicios (HES), que constituye el evento de cierre del ciclo y cuya ocurrencia dentro de los 30 días desde el cierre del mes es la meta institucional que el proceso debe cumplir.

La lectura del diagrama en su conjunto revela que el flujo tiene múltiples puntos de control distribuidos entre cuatro actores distintos (distintos al contratista), lo que es coherente con los requisitos de auditoría interna de una organización del tamaño de Metro de Santiago. Sin embargo, evidencia también que la etapa de elaboración manual del CAS y la Carta de Conformidad en el carril del Administrador Metro es la única actividad del flujo que no tiene ningún mecanismo de verificación automática ni apoyo tecnológico, dependiendo íntegramente de la precisión del administrador en la transcripción de datos bajo las condiciones de presión temporal descritas en la sección anterior. Es precisamente esta brecha, entre el nivel de control exigido por el proceso y la ausencia de soporte en la etapa más propensa al error, la que la fase Analizar se propone examinar en detalle.

## **8.2. Medir el problema**

La fase Medir tiene como propósito cuantificar con datos objetivos el estado actual del proceso, estableciendo la línea base sobre la cual se evaluará posteriormente el impacto de la intervención. A diferencia de la fase Definir, que recoge la percepción cualitativa del responsable del proceso, esta fase traduce dicha percepción en magnitudes verificables: tiempos de ciclo, volumen de contratos gestionados, tasa de errores y el nivel de cumplimiento del nivel de servicio institucional.

### **8.2.1. Cuantificación del tiempo de elaboración documental**

Debido a que actualmente los responsables de la generación documental no cronometran el tiempo dedicado a esta labor, la magnitud del esfuerzo fue estimada mediante entrevistas estructuradas con 3 Administradores de Contrato y 3 Analistas de Contrato. Se determinó que la elaboración manual del Certificado de Aceptación de Servicios (CAS) y la Carta de Conformidad toma en promedio 20 minutos por contrato, variando entre los 15 minutos en los casos más simples hasta los 30 minutos en contratos con múltiples combinaciones presupuestarias e imputaciones contables.

Considerando los 27 contratos activos administrados por el área a julio de 2026, la carga mensual acumulada alcanza aproximadamente 540 minutos, equivalentes a 9 horas de trabajo administrativo dedicadas exclusivamente a la transcripción manual de datos. Proyectada a un horizonte anual, esta cifra supera las 108 horas (más de 13 jornadas laborales completas), tiempo que desplaza funciones de mayor valor agregado como la administración sustantiva del contrato, el control presupuestario y la gestión proactiva de desviaciones.

### **8.2.2. Tasa de rechazo en flujo de firmas**

Un indicador complementario del impacto operacional de la digitación manual fue relevado mediante entrevistas con el Ingeniero de Gestión del área, quien actúa como primer revisor del paquete documental antes de su envío a la Subgerencia. En el período comprendido entre enero y mayo de 2026, se registraron 5 devoluciones formales de expe-

dientes por inconsistencias en la documentación generada manualmente, principalmente por errores de transcripción en el CAS (nombres de responsables desactualizados y números de EdP erróneos).

Esto establece una tasa de rechazo de 1 expediente por mes. Cada devolución obliga al Administrador a corregir el documento y reiniciar el flujo de aprobación, absorbiendo tiempo crítico dentro del margen operativo y agravando directamente el riesgo de incumplimiento en los plazos de pago.

### **8.2.3. Línea base del indicador del proceso: tiempo de liberación de la HES**

Para fundamentar cuantitativamente el desempeño real del proceso respecto al requisito del cliente interno, se analizó el histórico de pagos del año 2025 para los 8 servicios críticos seleccionados para la intervención. El indicador principal de desempeño corresponde al tiempo de liberación de la Hoja de Entrada de Servicios (HES), medido en días corridos desde el cierre del mes de servicio hasta la emisión final de la HES.

El análisis de datos determinó que el tiempo promedio de liberación de HES para este subconjunto de contratos asciende a 59 días, con una desviación estándar de 35 días ( $\mu = 59, \sigma = 35$ ). Al contrastar esta línea base con la meta o plazo institucional de 30 días corridos, se evidencia una brecha crítica: el proceso actual no solo duplica en promedio el estándar exigido por la organización, sino que presenta una altísima variabilidad e inestabilidad operacional.

### **8.2.4. Identificación de la variable crítica: estrechamiento de la holgura interna**

Al analizar las causas de esta brecha en el tiempo de liberación de la HES, se identifica que el factor condicionante es el desfase con que el contratista entrega su documentación de respaldo (Estado de Pago, Informe Mensual y KPI de accidentabilidad). En los 8 servicios críticos evaluados, los contratistas ingresan su documentación con un retraso recurrente de 15 a 20 días posteriores al cierre del mes de servicio.

Esta variable exógena reduce drásticamente la holgura interna del área: de los 30

días disponibles según el estándar institucional, el equipo de Metro dispone en la práctica de únicamente 10 a 15 días corridos para ejecutar todo el ciclo restante:

1. Revisión técnica del Estado de Pago.
2. Transcripción e imputación contable manual del CAS y Carta de Conformidad.
3. Consolidación de la carpeta de pago.
4. Tramitación del flujo de firmas digital.
5. Liberación final de la HES en SAP.

Bajo este escenario de margen operativo reducido, la combinación entre la elaboración manual y la probabilidad de cometer un error de tipeo se vuelve crítica. Un solo rechazo en el flujo de firmas consume la totalidad de la holgura restante, empujando de forma sistemática la liberación de la HES hacia la cola superior de la distribución observada (alcanzando desviaciones de hasta 94 días).

#### **8.2.5. Implicancia para el alcance de la intervención**

A partir de la medición y del diagnóstico de la brecha, se fundamenta el alcance de la fase de Mejora. La prioridad del proyecto no reside en eliminar el trabajo manual de forma indiscriminada en la totalidad de la cartera, sino en focalizar la solución en los **\*\*8 servicios críticos\*\*** identificados.

Es en este segmento donde convergen el estrechamiento de la holgura (15 a 20 días de desfase del contratista) y el incumplimiento severo del estándar de liberación de HES ( $59 \pm 35$  días). La eliminación de errores de transcripción y la reducción del tiempo de elaboración en el CAS y Carta de Conformidad actuarán como un mecanismo protector, blindando el margen interno disponible y reduciendo tanto la media como la variabilidad del tiempo de liberación de la HES.

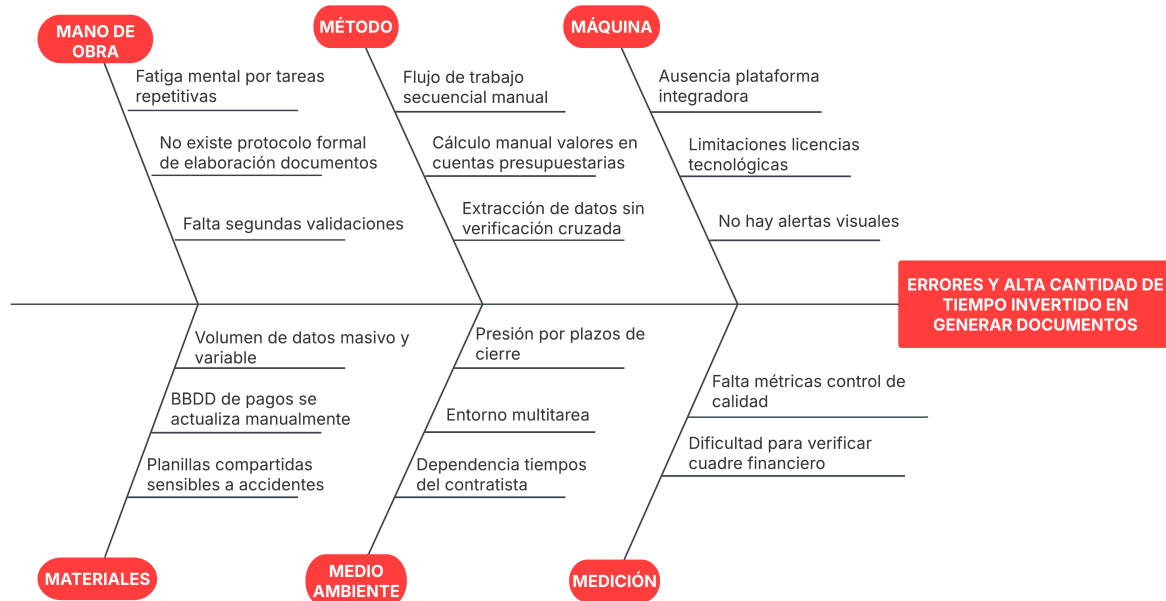
### **8.3. Analizar las causas**

La fase Analizar tiene como propósito identificar las causas raíz de las ineficiencias cuantificadas en la fase Medir, estableciendo una conexión causal rigurosa entre los síntomas observados, el tiempo excesivo de elaboración documental, la ocurrencia de errores de transcripción, y los factores estructurales que los originan. A diferencia de la fase Medir, que responde a la pregunta de cuánto tarda y cuánto falla el proceso, la fase Analizar responde a la pregunta de por qué, condición necesaria para diseñar una intervención que aborde el problema desde su raíz y no solo desde sus manifestaciones superficiales.

#### **8.3.1. Análisis de causas por categorías**

Para estructurar este análisis se empleó el diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto, herramienta propia de la fase Analizar del ciclo DMAIC que permite organizar visualmente las posibles causas de un problema de calidad en categorías homogéneas, facilitando la identificación de patrones causales y la priorización de los factores de mayor impacto. El efecto analizado es el siguiente: errores y alta cantidad de tiempo invertido en generar documentos. Las causas identificadas se organizan en las seis categorías de las 6M: Mano de obra, Método, Máquina, Materiales, Medio ambiente y Medición.

**Figura 5:** Diagrama espina de pescado del problema de investigación



Fuente: Elaboración propia

1. **Mano de obra:** La primera causa identificada en esta categoría es la fatiga mental generada por la naturaleza repetitiva de la tarea de elaboración documental. La transcripción sucesiva de múltiples parámetros numéricos, montos en UF, paridades, fechas, números de contrato, desde el Estado de Pago del contratista, hacia el Estado de Pago de Metro y luego a las plantillas del CAS y la Carta de Conformidad somete al administrador a una carga cognitiva sostenida que se degrada con el tiempo, aumentando progresivamente la probabilidad de error a medida que avanza la sesión de trabajo.

La segunda causa es la ausencia de un protocolo formal de elaboración de los documentos. El proceso actual no cuenta con un procedimiento escrito y compartido que establezca el orden de los pasos, los campos que deben verificarse obligatoriamente y los criterios de validación antes del envío al flujo de firmas. Como consecuencia, cada administrador desarrolla su propio método de trabajo, lo que genera variabilidad tanto en el tiempo de elaboración como en la calidad del resultado final entre distintos miembros del equipo.

La tercera causa es la falta de instancias de segunda validación antes de la emisión

del documento. En el proceso actual, el único control de calidad disponible es la revisión que el propio administrador hace sobre su trabajo inmediatamente después de haberlo generado, lo cual es un mecanismo de verificación insuficiente: la misma persona que cometió el error es quien debe detectarlo, sin apoyo de ningún sistema que actúe como contraparte de revisión.

**2. Método:** La primera causa en esta categoría es la existencia de un flujo de trabajo secuencial completamente manual, en el que cada paso, leer el EdP del contratista, identificar el parámetro relevante, trasladarlo mentalmente y escribirlo en la plantilla correcta, se ejecuta sin ningún apoyo automatizado que reduzca la fricción o el tiempo entre etapas. Este diseño del método de trabajo amplifica el efecto de las causas identificadas en Mano de obra, ya que cada transferencia manual de dato es una oportunidad independiente de error.

La segunda causa es el cálculo manual de los valores asociados a las cuentas presupuestarias. En contratos con múltiples centros gestores o proporciones presupuestarias, el administrador debe calcular de forma independiente la distribución del monto neto entre los distintos fondos, operación que introduce una fuente adicional de error aritmético que no existe en el EdP de Metro, donde el total ya viene calculado, y que no tiene ningún mecanismo de verificación automática en el proceso actual.

La tercera causa es la extracción de datos sin verificación cruzada. El proceso actual no contempla ningún paso formal en que el valor transcrito desde el EdP de Metro sea comparado contra la información disponible en la base de datos maestra de contratos, de modo que una discrepancia entre ambas fuentes, por ejemplo, un número de contrato con un formato distinto o un pedido abierto desactualizado, solo se detecta si el administrador la nota por experiencia propia o si es rechazada en el flujo de firmas.

**3. Máquina:** La primera causa en esta categoría es la ausencia de una plataforma integradora que conecte las distintas fuentes de información del proceso, el EdP de Metro, la base de datos maestra de contratos y las plantillas de los documentos de Metro, en un flujo único y automatizado. En el proceso actual, estas tres fuentes son completamente independientes entre sí, y la única integración existente es la que realiza el administrador

de forma manual, actuando como puente humano entre sistemas que no se comunican.

La segunda causa son las limitaciones de licenciamiento tecnológico que restringen el acceso a plataformas de automatización comerciales disponibles en el ecosistema Microsoft, como Power Automate con conectores premium o AI Builder, cuya adopción habría permitido construir flujos de automatización sobre la infraestructura ya existente en el área. Esta restricción no es una falla técnica del proceso, sino una condición institucional que delimita el espacio de soluciones tecnológicas disponibles y obliga a explorar alternativas de menor costo de licenciamiento.

La tercera causa es la ausencia de alertas visuales en las herramientas actuales de elaboración documental. Las plantillas Word utilizadas para el CAS y la Carta de Conformidad no incorporan ningún mecanismo de validación de campos, formato de dato esperado ni alerta ante valores fuera de rango, de modo que un monto negativo, una fecha imposible o un campo vacío no generan ninguna señal que advierta al administrador antes de que el documento sea emitido.

**4. Materiales:** La primera causa en esta categoría es el volumen masivo y variable de datos que debe procesarse en cada ciclo mensual. A diferencia de procesos administrativos con parámetros fijos, la generación del CAS y la Carta de Conformidad requiere procesar un conjunto de datos que varía en cantidad y formato entre contratos —número de partidas, centros gestores, proporciones, tipo de moneda— lo que impide que el administrador desarrolle una rutina completamente mecanizada y obliga a una lectura activa de cada EdP antes de iniciar la transcripción.

La segunda causa es que la base de datos de pagos desde SAP se actualiza manualmente y sin un protocolo escrito ni validado, lo que implica que la disponibilidad de información respecto a los montos pagados de cada servicio y los correlativos (números de los EdP) no es inmediata, lo que podría llevar a que se cometan errores al rellenar las plantillas de la documentación. Por otro lado, no existe una BBDD centralizada en los sitios compartidos como Sharepoint donde los administradores puedan revisar o modificar parámetros relativos a cada servicio.

La tercera causa es que las planillas y documentos compartidos en los que se

trabaja el proceso son sensibles a accidentes de edición. Al tratarse de archivos Excel y Word almacenados en carpetas de red sin control de versiones ni protección de campos críticos, una modificación accidental, ya sea en una fórmula de la base de datos o en la estructura de una plantilla, puede alterar el comportamiento de todo el proceso sin que exista un mecanismo de alerta o reversión automática.

**5. Medio Ambiente:** La primera causa en esta categoría es la presión ejercida por los plazos de cierre mensual. El proceso de generación documental no ocurre en condiciones de trabajo calmadas y planificadas, sino bajo la presión de cumplir con la meta institucional de 30 días para la liberación de la HES, lo que incentiva la velocidad por sobre la verificación y reduce el tiempo que el administrador dedica a revisar cada documento antes de avanzar al paso siguiente.

La segunda causa es el entorno multitarea en que opera el administrador de contrato. La generación del CAS y la Carta de Conformidad no es la única responsabilidad activa del administrador durante el período de cierre mensual: simultáneamente debe atender consultas del contratista, gestionar incidencias operativas y coordinar el flujo de firmas de contratos en distintas etapas del proceso. Esta fragmentación de la atención es una condición de entorno que amplifica el efecto de la fatiga cognitiva identificada en la categoría Mano de obra.

La tercera causa es la dependencia de los tiempos de entrega del contratista, variable externa al control del área que determina de manera directa el margen disponible para completar el ciclo de pago. Como se estableció en la fase Medir, en los contratos donde la documentación llega con 15 a 20 días de desfase respecto al cierre del período, el margen interno se reduce a tal punto que cualquier error o reproceso en la elaboración documental puede comprometer el cumplimiento del plazo institucional, convirtiendo una causa de entorno en un riesgo operacional crítico.

**6. Medición:** La primera causa en esta categoría es la falta de métricas de control de calidad sobre el proceso de generación documental. En el estado actual, no existe ningún indicador que registre cuántos documentos son rechazados en el flujo de firmas por errores de contenido, qué tipo de errores son los más frecuentes, ni qué contratos concen-

tran la mayor tasa de reproceso. Sin esta información, es imposible gestionar el problema con criterio de prioridad ni evaluar si las intervenciones realizadas están teniendo efecto.

La segunda causa es la dificultad para verificar el cuadro financiero del documento generado contra el Estado de Pago del contratista. En el proceso actual, la validación de que el monto neto del CAS coincide exactamente con el monto declarado en el EdP del contratista depende de una revisión visual manual del administrador, sin ningún soporte de cálculo automático que confirme la consistencia entre ambas fuentes. Esta ausencia de verificación aritmética automatizada es una brecha de control que puede pasar inadvertida hasta el flujo de firmas.

### **8.3.2. Priorización de causas**

Con el propósito de orientar la fase de diseño de la solución hacia las causas de mayor impacto y viabilidad de intervención, se elaboró una tabla de priorización que clasifica cada una de las 17 causas identificadas en el diagrama de Ishikawa según su factibilidad de intervención dentro del alcance de este proyecto. Esta clasificación se realizó considerando dos criterios complementarios: por un lado, si la causa tiene origen en factores controlables por el equipo del área, como el diseño del proceso, las herramientas disponibles o la estructura de los documentos, o si responde a variables externas o institucionales que escapan al alcance de esta memoria, como los tiempos de entrega del contratista o las restricciones de licenciamiento tecnológico; y por otro lado, si la naturaleza de la causa sugiere la posibilidad de una intervención tecnológica, procedimental u organizacional como mecanismo de abordaje.

Tabla 1: Priorización de causas del diagrama de Ishikawa según factibilidad de intervención

| Categoría           | Causa identificada                                      | Factibilidad | Fundamento                                                                                                                                                            |
|---------------------|---------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mano de obra</b> | Fatiga mental por tareas repetitivas                    | Alta         | La naturaleza repetitiva y estandarizable de la tarea la hace susceptible de automatización, eliminando la intervención manual como fuente de fatiga cognitiva.       |
|                     | No existe protocolo formal de elaboración de documentos | Media        | Requiere una decisión organizacional sobre responsable y estándar de trabajo; no es abordable para el trabajo de esta memoria                                         |
|                     | Falta de segundas validaciones                          | Alta         | La verificación automática de parámetros con una herramienta tecnológica reemplaza la necesidad de una segunda revisión humana antes de la emisión del documento.     |
| <b>Método</b>       | Flujo de trabajo secuencial manual                      | Media-Alta   | El flujo puede automatizarse parcialmente una vez validado el informe del contratista; la variabilidad de formatos entre contratistas limita la automatización total. |

| Categoría         | Causa identificada                                   | Factibilidad | Fundamento                                                                                                                                                               |
|-------------------|------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | Cálculo manual de valores en cuentas presupuestarias | Alta         | La distribución proporcional de montos entre centros gestores es calculable algorítmicamente a partir de las reglas de negocio registradas en una base de datos maestra. |
|                   | Extracción de datos sin verificación cruzada         | Alta         | Asociado al punto de segunda validación, este refiere a evitar la transcripción manual desde un EdP, con posibilidad de automatizar esta acción                          |
| <b>Máquina</b>    | Ausencia de plataforma integradora                   | Alta         | Integrar plantillas, bases de datos y extracción de datos desde un EdP.                                                                                                  |
|                   | Limitaciones de licencias tecnológicas               | Baja         | Restricción institucional fuera del alcance del proyecto; condiciona la elección tecnológica pero no es eliminable en el corto plazo.                                    |
|                   | No hay alertas visuales en las herramientas actuales | Alta         | Crear un mecanismo de retroalimentación en tiempo real sobre los datos digitados y extraídos.                                                                            |
| <b>Materiales</b> | Volumen de datos masivo y variable por contrato      | Media        | Ante contratos cuya documentación mensual es más compleja, una posible automatización podría tener limitaciones.                                                         |

| Categoría             | Causa identificada                                      | Factibilidad | Fundamento                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Base de datos de contratos se actualiza manualmente     | Media        | Parcialmente abordable mediante un protocolo de actualización con responsable designado; no es automatizable sin integración directa con los sistemas ERP del área.                            |
|                       | Planillas compartidas sensibles a accidentes de edición | Media-Alta   | Ante un sistema de documentos compartidos como Sharepoint, existe un alto riesgo de editarlos sin intención. Podría blindarse con un documento estándar no editable en una aplicación externa. |
| <b>Medio Ambiente</b> | Presión por plazos de cierre mensual                    | Baja         | Variable institucional no modificable por el proyecto, asociado a una política institucional.                                                                                                  |
|                       | Entorno de trabajo multitarea                           | Baja         | Condición organizacional estructural del rol de administrador de contrato; no abordable dentro del alcance de este proyecto.                                                                   |
|                       | Dependencia de los tiempos de entrega del contratista   | Baja         | Variable completamente externa al área; no controlable por la intervención propuesta, aunque su impacto se reduce al acortar el tiempo de procesamiento interno disponible.                    |

| Categoría | Causa identificada                                  | Factibilidad | Fundamento                                                                                                                |
|-----------|-----------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Medición  | Falta de métricas de control de calidad del proceso | Alta         | Creación registro automático de KPIs de control sobre la calidad del proceso en creación de documentos y flujo de firmas. |
|           | Dificultad para verificar el cuadro financiero      | Alta         | Se puede confirmar que la suma de montos de los centros gestores es igual al total, a través de un cálculo automático.    |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la tabla de priorización permite identificar un patrón claro: la mayoría de las causas clasificadas con factibilidad Alta o Media-Alta convergen en una misma necesidad estructural, la integración automática de las fuentes de información del proceso con la generación de los documentos de pago. En efecto, causas como la fatiga mental por tareas repetitivas, la falta de segundas validaciones, el cálculo manual de valores en cuentas presupuestarias, la extracción de datos sin verificación cruzada, la ausencia de una plataforma integradora, la falta de alertas visuales y la inexistencia de métricas de control, que suman siete de las dieciocho causas levantadas, son todas abordables mediante un mismo tipo de solución: una herramienta que extraiga automáticamente los parámetros desde el Estado de Pago de Metro, los contraste con la base de datos maestra de contratos, calcule algorítmicamente los valores de imputación presupuestaria y genere los documentos finales sin intervención manual en la fase de transcripción.

Las causas con factibilidad Media, como la actualización manual de la base de datos o la variabilidad en el volumen de datos por contrato, no son eliminables de forma autónoma, pero sí pueden ser gestionadas mediante protocolos complementarios de mantenimiento que reduzcan su frecuencia e impacto. Las causas con factibilidad Baja, en tanto, corresponden a restricciones estructurales del entorno, la presión del plazo institucional,

el entorno multitarea del administrador y la dependencia de los tiempos del contratista, sobre las cuales la intervención propuesta no tiene control directo, aunque su efecto se atenúa indirectamente al reducir el tiempo de procesamiento interno y disminuir la probabilidad de reprocesos que consuman el margen de holgura disponible.

### 8.3.3. Matriz impacto factibilidad

El análisis de la Matriz de Impacto y Factibilidad permite jerarquizar y priorizar la atención sobre las causas raíz identificadas en el proceso. En particular, la estrategia de intervención se concentra de manera inmediata en el cuadrante superior derecho (Alto Impacto / Alta Factibilidad), donde se agrupan las 8 causas críticas: Falta de segundas validaciones en el trabajo manual, las distintas fuentes de información no centralizadas, fatiga mental producida por actividades repetitivas, falta de alertas visuales, cálculos manuales de las combinaciones contables, extracción de datos sin verificación cruzada, falta de métricas sobre la calidad del proceso documental y aseguramiento del cuadro financiero de las combinaciones contables.

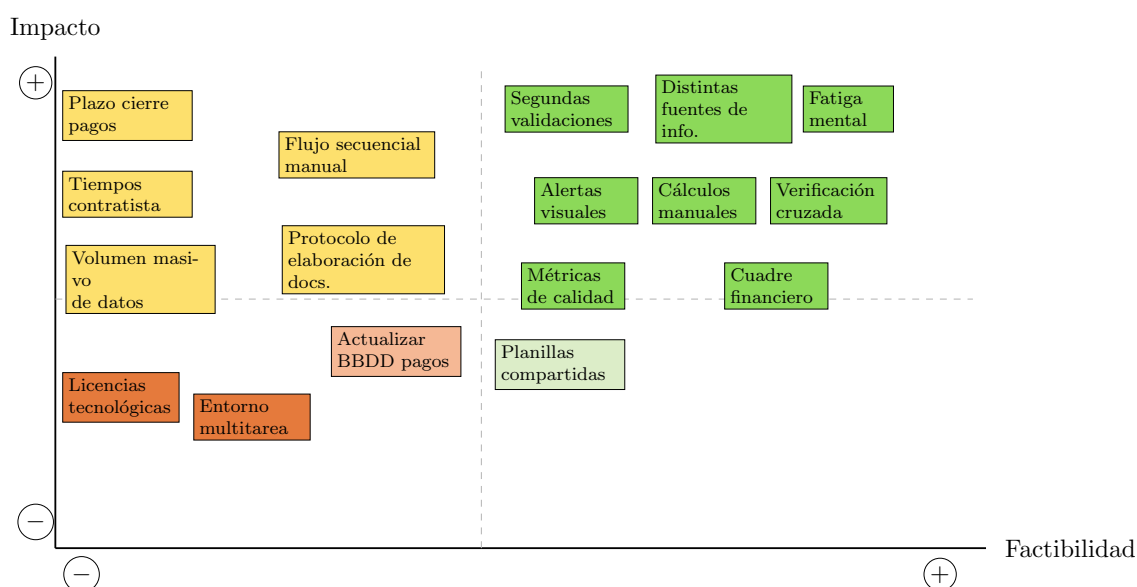


**Figura 6:** Matriz de Impacto y Factibilidad para la priorización de causas raíz.

Estas 8 causas constituyen el núcleo prioritario para una posible optimización del proceso orientada a la utilización de una herramienta tecnológica facilitadora, debido a que comparten tres características fundamentales:

- **Naturaleza Repetitiva y Alta Parametrización:** Todas las tareas asociadas a este cuadrante se caracterizan por una elevada carga operacional de carácter rutinario. Operaciones como la ejecución de cálculos manuales, la consolidación del cuadro financiero, la comprobación de métricas de calidad y la revisión iterativa mediante verificaciones cruzadas siguen reglas lógicas fijas, deterministas y predecibles. Al ser tareas altamente parametrizables, no requieren criterio discrecional por parte del usuario en cada iteración, sino el cumplimiento estricto de una secuencia de reglas de negocio que pueden (y deben) ser traducidas a algoritmos computacionales.
- **Ausencia de Mecanismos de Verificación Automática:** Actualmente, el proceso carece de controles integrados o validaciones programadas en tiempo real. La detección de inconsistencias numéricas o de formato descansa en la revisión visual por parte del administrador. Esta falta de verificación automática genera la necesidad de ejecutar segundas validaciones y constantes alertas visuales rudimentarias (como el pintado o marcado manual de celdas), lo que no solo incrementa drásticamente el tiempo de ciclo del trámite, sino que induce a la fatiga mental del operador, elevando la probabilidad de omitir fallas antes de la emisión de los documentos.
- **Desconexión de las Fuentes de Información y Fragmentación Operativa:** El factor más crítico que explica el alto impacto de estas causas radica en la dispersión de los datos clave. Actualmente, la información requerida para procesar el pago a contratistas se encuentra fragmentada en al menos tres orígenes independientes, el EDP de Metro, BBDD de pagos de SAP y las plantillas de trabajo para el CAS y Carta de conformidad. Al no existir un sistema o base centralizada que integre y coordine estos tres flujos de información, la gestión se vuelve vulnerable. La desconexión entre las fuentes obliga al administrador a realizar una transcripción y cruce de datos manual. Este escenario de datos desincronizados y descentralizados implica un riesgo latente significativo: inconsistencias o errores de cálculo pueden pasar completamente inadvertidos, propagándose a lo largo de la cadena de validación e impactando directamente en la precisión del pago final y el cumplimiento de las fechas límite institucionales.

#### 8.3.4. Análisis de valor agregado

El análisis de valor agregado (AVA) complementa el diagnóstico causal realizado mediante el diagrama de Ishikawa, desplazando el foco desde las causas del problema hacia las actividades específicas del proceso actual. Su propósito en esta fase es clasificar cada actividad del flujo de generación del CAS y la Carta de Conformidad según su contribución real al resultado del proceso, distinguiendo aquellas que requieren intervención profesional y generan valor, ya sea para el contratista o para el control interno del área, de aquellas que consumen tiempo sin aportar ningún criterio de juicio ni control que no pueda ser ejecutado de forma automática.

Para esta clasificación se utilizan las tres categorías del pensamiento Lean descritas en el marco teórico: actividades de valor agregado al cliente (VAC), cuando su ejecución es percibida directamente por el contratista o por Metro como parte del control de calidad del servicio; actividades de valor agregado al negocio (VAN), cuando son necesarias para el funcionamiento del proceso o para el cumplimiento de requisitos internos pero no son percibidas externamente; y actividades que no agregan valor (NVA), cuando consumen recursos sin ninguna justificación de negocio ni de control, constituyendo desperdicio operacional en el sentido Lean del término.

El mapeo se realizó sobre las actividades del flujo documentado en la figura 5, considerando únicamente las etapas comprendidas entre la recepción del Estado de Pago del contratista y la emisión de los documentos hacia el flujo de firmas, que es el tramo del proceso sobre el cual este proyecto tiene alcance de intervención.

Tabla 2: Análisis de valor agregado del proceso actual de generación documental

| Actividad                                                             | Clasif. | Justificación                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Revisar y validar el informe mensual de actividades del contratista   | VAC     | Requiere juicio profesional del administrador; constituye el control de calidad del servicio prestado y no puede delegarse a un sistema automático.                |
| Aprobar el monto declarado en el Estado de Pago del contratista       | VAC     | Decisión profesional que implica contrastar el monto con el avance real del servicio; requiere criterio humano y es irrenunciable en el proceso.                   |
| Firma del CAS y la Carta de Conformidad por los responsables del área | VAN     | Control interno obligatorio para habilitar la liberación de la HES; no agrega valor percibido por el contratista pero es un requisito institucional no eliminable. |
| Ingresar la información del contrato en SAP                           | VAN     | Paso necesario para la ejecución del pago en el sistema ERP institucional; es condición para que el ciclo de pago se complete.                                     |
| Buscar manualmente los datos del contrato en la base de datos         | NVA     | Consulta de información ya disponible en la base de datos maestra; no requiere juicio profesional y es íntegramente automatizable.                                 |

|                                                                            |     |                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Construir el EdP de Metro                                                  | VAN | Operación necesaria para el flujo de trabajo y de respaldo ante auditorías internas                                                                             |
| Leer el EdP de Metro y extraer parámetros críticos manualmente             | NVA | Operación de copia de datos entre documentos que no requiere criterio de decisión; introduce fricción sin generar ningún valor de control.                      |
| Transcribir los parámetros extraídos al CAS manualmente                    | NVA | Tarea de digitación pura sin valor cognitivo; constituye la principal fuente de errores de tipeo y la actividad de mayor consumo de tiempo del proceso.         |
| Transcribir los parámetros extraídos a la Carta de Conformidad manualmente | NVA | Duplica la exposición al error de la actividad anterior al requerir el ingreso de los mismos parámetros en un segundo documento sin verificación cruzada.       |
| Calcular manualmente la distribución presupuestaria entre centros gestores | NVA | Operación aritmética determinista basada en proporciones fijas registradas en la base de datos; calculable algorítmicamente sin intervención del administrador. |

|                                                                                     |     |                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verificar visualmente la consistencia entre el EdP de Metro y el documento generado | NVA | Depende exclusivamente de la atención del administrador sobre su propio trabajo, sin soporte automatizado; no garantiza la detección de errores antes del flujo de firmas. |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del AVA son contundentes: de las once actividades que componen el flujo analizado, seis corresponden a actividades NVA, tres a VAN y solo dos a VAC. En términos de tiempo, esta distribución es aún más pronunciada, dado que las actividades NVA, en particular la transcripción manual y la búsqueda de datos, concentran la mayor parte de los 20 minutos promedio de elaboración medidos en la fase Medir, mientras que las actividades VAC y VAN, que son las que efectivamente requieren la presencia y el juicio del administrador, representan una fracción notoriamente menor del tiempo total invertido.

Esta proporción es el indicador más directo de la ineficiencia estructural del proceso actual: el administrador de contrato dedica la mayor parte de su tiempo de elaboración documental a tareas que no requieren su criterio profesional, desplazando las actividades que sí lo requieren, como la validación del informe del contratista, la aprobación del monto y el control presupuestario hacia un segundo plano operativo. Esta conclusión es consistente con lo identificado en la fase Definir, donde el Jefe de Contratos señaló explícitamente que el tiempo invertido en la generación manual de documentos debería destinarse a la administración sustantiva de los contratos, el control presupuestario y el ingreso de pagos en SAP, todas actividades clasificadas en este análisis como VAC o VAN.

### 8.3.5. Síntesis causal

El análisis de las diecisiete causas identificadas en el diagrama de Ishikawa y evaluadas según su factibilidad de intervención, permite extraer una conclusión que no

se limita a enumerar qué causas son abordables, sino que revela por qué convergen en un mismo tipo de solución.

Las causas clasificadas con factibilidad Alta comparten una característica estructural: todas describen tareas que se repiten mes a mes con los mismos parámetros, cuyos resultados no se contrastan visualmente contra ninguna fuente de referencia durante su ejecución, y sobre las cuales no existe ningún registro sistemático que permita detectar cuándo fallan ni con qué frecuencia. Cuando una tarea es repetitiva, parametrizable y carece de mecanismos de verificación automática, reúne las condiciones necesarias para ser automatizada. Este es precisamente el perfil de la generación manual del CAS y la Carta de Conformidad en el proceso actual.

La fase Medir estableció además que esta automatización no debe dirigirse de forma indiferente a la totalidad de los 27 contratos activos del área, sino que debe priorizarse sobre los 8 servicios en que el contratista entrega su documentación con un desfase de 15 a 20 días respecto al cierre del mes. En estos contratos, el margen interno disponible para completar el ciclo dentro del plazo institucional de 30 días es mínimo, de modo que cualquier error de transcripción que genere un rechazo en el flujo de firmas compromete directamente el cumplimiento del plazo. Es en este subconjunto donde la mitigación del riesgo de reproceso tiene el mayor impacto operacional.

La intervención que responde de forma simultánea a ambas conclusiones es el desarrollo de una plataforma que integre tres elementos hoy desconectados entre sí: una base de datos maestra de contratos, que contenga los responsables, el historial de pagos, las reglas de negocio y los parámetros de imputación presupuestaria; las plantillas institucionales del CAS y la Carta de Conformidad (en formato Word); y el Estado de Pago de Metro, desde el cual deben extraerse automáticamente los parámetros críticos de cada período. Al conectar estas tres fuentes en un flujo único, la plataforma elimina la transcripción manual como actividad central, reduce el tiempo de generación documental y establece un mecanismo de validación cruzada que detecta inconsistencias antes de que el documento llegue al flujo de firmas, disminuyendo así la probabilidad de reproceso en los contratos de mayor sensibilidad temporal.

## 8.4. Mejorar el proceso

La fase Mejorar traduce en una solución concreta las causas raíz priorizadas en la fase Analizar. Como se estableció en la síntesis causal, la intervención con mayor potencial de impacto es una herramienta que integre automáticamente las fuentes de información del proceso, como el Estado de Pago de Metro, las plantillas de la documentación requerida (en formato Word) y la base de datos maestra de contratos, con la generación de los documentos de pago, eliminando la transcripción manual como actividad central y liberando al administrador para concentrarse en las tareas de valor agregado identificadas en el análisis de valor agregado: la revisión del informe del contratista, la aprobación del monto y el control presupuestario.

Con este propósito se diseñó e implementó un portal de automatización documental de despliegue local, cuya arquitectura y funcionamiento se describen a continuación desde la perspectiva del proceso, no de la implementación técnica. El detalle sobre la arquitectura del código se incluye como Anexo.

### 8.4.1. Arquitectura general de la solución

El portal opera como una aplicación web de despliegue local (localhost), fundamentada en las ventajas arquitectónicas descritas en el marco teórico: cada administrador ejecuta la herramienta directamente en su estación de trabajo mediante un archivo de inicio, sin depender de un servidor centralizado ni de licenciamiento adicional sobre la infraestructura de Microsoft 365.

La solución se apoya en tres componentes funcionales:

1. **Una base de datos maestra en Excel**, en la que se encuentran todos los parámetros de un contrato, como la Subgerencia, el Administrador de Contrato, contacto del contratista, lógica de imputación presupuestaria, historial de pagos, entre otras. Es importante aclarar que, a pesar de que acá se encuentren disponibles todos los parámetros, no todos ellos se tomarán desde la BBDD. Variables como el N° de EdP y periodo de pago se tomarán directamente desde el EdP Excel de Metro, pues podría darse el caso que, de no actualizarse manualmente la pestaña de pagos, el sistema muestre un número

antiguo de EdP. El detalle de las fuentes de extracción de parámetros se encuentra en las tablas de la sección 8.4.2

2. **Un motor de lectura y extracción**, que interpreta el archivo Excel del EdP de Metro y localiza los parámetros críticos del pago independientemente de la posición exacta de las celdas, buscando por etiqueta de texto en lugar de coordenadas fijas. Esto responde directamente a la causa raíz “ausencia de plataforma integradora” (Máquina) identificada en el diagrama de Ishikawa.

3. **Un motor de reglas de negocio**, que aplica la lógica de imputación presupuestaria correspondiente a cada contrato, fija o proporcional, según su configuración en la base de datos maestra, y calcula automáticamente la distribución del monto neto entre los centros gestores y fondos asociados. Este componente elimina la causa raíz de cálculo manual de valores en cuentas presupuestarias (Método).

4. **Un motor de generación documental**, que rellena las plantillas estandarizadas del CAS y la Carta de Conformidad con los datos extraídos y validados, produciendo un documento Word listo para su firma, con nomenclatura de archivo estandarizada.

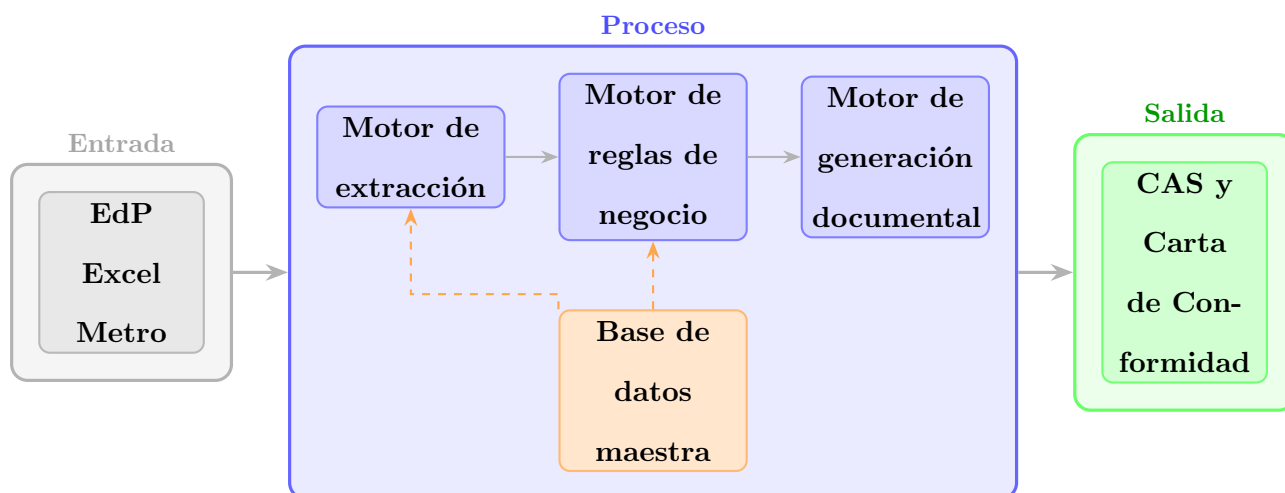


**Figura 7:** Arquitectura del portal de automatización documental.

#### 8.4.2. Parámetros a extraer en la Carta de Conformidad y CAS

La generación automática del CAS y la Carta de Conformidad requiere distintos tipos de parámetros según su origen y naturaleza. Las Tablas 3 y 4 detallan, para cada documento, qué campos se incorporan, desde qué fuente los obtiene la herramienta y qué

tipo de tratamiento recibe cada uno.

Tres categorías de origen son posibles: parámetros extraídos del EdP Excel de Metro mediante el motor de lectura, parámetros consultados desde la base de datos maestra de contratos sin intervención del administrador, y parámetros calculados automáticamente por la herramienta a partir de los anteriores.

Primero, se muestran los parámetros de la Carta de Conformidad.

Tabla 3: Parámetros de la Carta de Conformidad

| <b>Campo</b>              | <b>Origen</b>          | <b>Tratamiento</b>                          |
|---------------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| N° de EdP                 | EdP Excel              | Extraído y validado contra BBDD             |
| Mes del período           | EdP Excel              | Extraído y validado contra período sugerido |
| Año del período           | EdP Excel              | Extraído y validado contra período sugerido |
| N° de Contrato            | EdP Excel              | Extraído y validado contra BBDD             |
| Nombre del servicio       | Base de datos maestra  | Consultado automáticamente                  |
| Empresa contratista       | Base de datos maestra  | Consultado automáticamente                  |
| Administrador Metro       | Base de datos maestra  | Consultado automáticamente                  |
| Administrador contratista | Base de datos maestra  | Consultado automáticamente                  |
| Fecha de emisión          | Sistema (fecha actual) | Generado automáticamente                    |

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se muestran los parámetros del CAS:

Tabla 4: Parámetros del Certificado de Aceptación de Servicios (CAS)

| <b>Campo</b>              | <b>Origen</b>         | <b>Tratamiento</b>                            |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|
| N° de EdP                 | EdP Excel             | Extraído y validado contra BBDD               |
| N° de Contrato            | EdP Excel             | Extraído y validado contra BBDD               |
| Pedido Abierto            | EdP Excel             | Extraído y validado contra BBDD               |
| Mes y año del período     | EdP Excel             | Extraídos y validados contra período sugerido |
| Monto neto (UF)           | EdP Excel             | Extraído y normalizado a formato chileno      |
| Paridad de moneda         | EdP Excel             | Extraído; mostrado para verificación visual   |
| Fecha de moneda           | EdP Excel             | Extraído y formateado                         |
| Nombre del servicio       | Base de datos maestra | Consultado automáticamente                    |
| Empresa contratista       | Base de datos maestra | Consultado automáticamente                    |
| Administrador Metro       | Base de datos maestra | Consultado automáticamente                    |
| Administrador contratista | Base de datos maestra | Consultado automáticamente                    |

| <b>Campo</b>                                | <b>Origen</b>             | <b>Tratamiento</b>                                             |
|---------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Subgerente y subgerencia                    | Base de datos maestra     | Consultado automáticamente                                     |
| Ley de subcontratación                      | Base de datos maestra     | Consultado automáticamente                                     |
| Destinatarios HES                           | Base de datos maestra     | Consultado automáticamente                                     |
| Cuenta presupuestaria                       | Base de datos maestra     | Consultado automáticamente                                     |
| Centro(s) gestor(es) y fondo(s)             | Base de datos maestra     | Consultado automáticamente                                     |
| Monto por centro gestor                     | Cálculo automático        | Calculado sobre monto neto según modalidad fija o proporcional |
| Contactos administrador Metro y contratista | Base de datos maestra     | Consultado automáticamente                                     |
| Fecha de emisión                            | Sistema (fecha actual)    | Generado automáticamente                                       |
| Aplica multa                                | Entrada del administrador | Requiere juicio profesional                                    |
| Observaciones                               | Entrada del administrador | Requiere juicio profesional                                    |

Fuente: Elaboración propia.

### 8.4.3. Flujo de uso del portal

El portal reorganiza el proceso de generación documental en cinco etapas secuenciales, cada una correspondiente a una pantalla de la aplicación. Este diseño materializa el principio de «segunda validación» (causa raíz priorizada como de alta factibilidad), dado que cada etapa contrasta la información contra la base de datos antes de permitir el avance a la siguiente.

**1. Identificación del contrato:** El administrador busca el contrato mediante uno de tres métodos (Pedido Abierto, Nombre del Servicio o N° de Contrato). El sistema consulta automáticamente el historial de pagos y sugiere el número de EdP siguiente y el período a pagar, a partir del último registro encontrado en la base de datos, reduciendo la posibilidad de error en la numeración secuencial.

**Figura 8:** Pantalla 1 Portal Automatización



**METRO DE SANTIAGO**

**Portal de Automatización de Documentos para pago** [Ver Panel KPIs](#)

Método de búsqueda:

☐ Pedido Abierto ☒ Nombre del Servicio ☐ N° Contrato

Selecciona NOMBRE DEL SERVICIO:

Choose an option ▼

Luego de seleccionar el servicio para el que se quiere generar la documentación, la pantalla muestra parámetros extraídos directamente desde la BBDD según el Pedido Abierto del servicio y N° de Contrato, los que funcionan como ID del contrato.

**Figura 9:** Pantalla 1.1 Portal Automatización

 Último EdP detectado: 43 (Abril 2026).

 **Datos del Contrato**

Pedido Asociado

4600003239

Contratista

Administrador Metro

 **Parámetros de Control**

Número de EdP:

44

Período (palabras):

Mayo 2026

Período (MM-AAAA):

05-2026

 Confirmar BBDD y Avanzar al Paso 2

**2. Carga y contrastación del EdP:** El administrador adjunta el Excel del Estado de Pago construido previamente (y validado por jefe de Contratos). El sistema extrae automáticamente el número de contrato, el pedido abierto, el número de EdP, el mes, el año, la paridad de moneda y el monto neto, y despliega una tabla comparativa que contrasta cada valor extraído contra el valor registrado en la base de datos maestra, señalando explícitamente si existe coincidencia o discrepancia. Esta etapa es la implementación directa del mecanismo de verificación cruzada ausente en el proceso original.

Figura 10: Pantalla 2 Portal Automatización

Adjunta el Excel del Estado de Pago

Drag and drop file here  
Limit 200MB per file • XLSX, XLS

Browse files

EP 42 [REDACTED] Mar 2026 Metro (2).xlsx 19.2KB

✕

Tabla de Contrastación con BBDD

| Campo a Extraer | Valor en Excel | Validación con BBDD                         |
|-----------------|----------------|---------------------------------------------|
| Monto Neto      | [REDACTED]     | ↓ 8,8% menor que el EdP anterior [REDACTED] |
| N° Contrato     | [REDACTED]     | ✓ Coincide ([REDACTED])                     |
| Pedido Abierto  | 4600003239     | ✓ Coincide (4600003239)                     |
| Fecha Moneda    | 31/03/2026     | —                                           |

Figura 11: Pantalla 2.1 Portal Automatización

|                |          |                             |
|----------------|----------|-----------------------------|
| Paridad Moneda | 39841.72 | —                           |
| N° EdP         | 42       | ⚠ Difiere (BBDD dice: 44)   |
| Mes            | Marzo    | ⚠ Difiere (BBDD dice: Mayo) |
| Año            | 2026     | ✓ Coincide (2026)           |

Avanzar al Paso 3 (Carta de Conformidad)

Como se observa en la imagen, existe una discrepancia respecto a la BBDD pues, en el Excel adjuntado aparece como el N° de EdP el 42 y correspondiente al mes de marzo, pero la BBDD dice que debería estar adjuntándose el N° de EdP 44 del mes de mayo. Es decir, en la BBDD, el último pago registrado para el servicio seleccionado, es el N° 43 del mes de abril. Como se trata de un ejemplo de prueba, esto no implica que haya un error en la aplicación, sino que simplemente el usuario envió un EdP antiguo para el que se quiere generar documentación.

Por otro lado, se añade una alerta visual mediante un cálculo automático de la diferencia porcentual respecto al último pago del servicio, de manera que el administrador

pueda obtener rápidamente una verificación de que el monto extraído tenga concordancia con el historial.

En esta parte, es factible que se de el caso que el administrador o analista que haga uso del portal, envíe un EdP que corresponda a otro servicio. Para blindar la aplicación de generar documentos con datos erróneos, el botón de avanzar al siguiente paso se desbloquea si y solo si, el N° de Contrato y Pedido abierto que están en el Excel adjuntado, corresponden con los registrados en la BBDD, caso que se puede apreciar en la siguiente imagen.

**3. Generación de la Carta de Conformidad:** Con los datos validados en la etapa anterior, el sistema rellena automáticamente los parámetros a añadir en el archivo Word para la Carta de Conformidad que se envía al contratista, con el nombre de archivo estandarizado siguiendo la convención: Carta Conformidad [N° EdP] [N° Contrato] [MES]-[AA].docx, eliminando la variabilidad de nomenclatura entre administradores.

**Figura 12:** Pantalla 3 Portal Automatización

Volver al Paso 2

### Variables Listos para Rellenar la Carta de Conformidad

|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| Fecha Emisión (Hoy)   | Nombre de la Empresa Contratista |
| 4 de julio 2026       |                                  |
| Número de EdP (Excel) | Descripción del Servicio         |
| 42                    |                                  |
| Mes del Periodo       | Administrador Metro S.A.         |
| MARZO                 |                                  |
| Año del Periodo       | Administrador Contratista        |
| 2026                  |                                  |
| Número de Contrato    |                                  |
|                       |                                  |

Luego, el usuario descarga directamente el archivo Word que se genera con los parámetros mostrados previamente.

**Figura 13:** Resultado N°1: Carta conformidad

**CARTA DE CONFORMIDAD DE ESTADO DE PAGO N°42**

Se certifica, que los trabajos correspondientes al Servicio de [REDACTED] realizados en el mes de **MARZO 2026**, correspondiente al contrato número [REDACTED] administrados por [REDACTED], Administrador de Contrato Metro S.A. y [REDACTED] Administrador de Contrato de [REDACTED], se reciben conformes de acuerdo con lo establecido en el contrato antes señalado.

Por otra parte, los servicios antes señalados, se cancelarán de acuerdo con lo informado en el "Estado de Pago N°42" que se adjunta.

[REDACTED]  
Administrador de Contrato  
Metro S.A.

[REDACTED]  
Administrador de Contrato  
[REDACTED]

4. **Generación del CAS:** Esta es la etapa de mayor complejidad, dado que el CAS requiere además la definición de la imputación presupuestaria. El administrador solo debe confirmar dos configuraciones puntuales que exigen juicio profesional y no son automatizables: si corresponde aplicar una multa al período y si existen observaciones adicionales a incluir.

**Figura 14:** Pantalla 4 Portal Automatización

 **Configuraciones Especiales para el CAS**

**1. Lógica y Multas**  
¿Aplica Multa al Estado de Pago?  
☐ NO ☒ SI  
Indique el monto de la multa (UF):  

20,00 - +

**2. Observaciones**  
¿Añadir observaciones?  
☒ Sin observaciones ☐ Otra  
☐ Valor IVA incluido

**3. Anexos Adicionales**  

Predeterminados: Carta de conformidad de pago, Estado de pago, Estado de Pago Metro, KPI accidentabilidad, Certificado de IRC, Informe Mensual

Añada otros anexos (separados por coma):  
Ej: Certificado F30 y F31, ...

Para este ejemplo, suponemos que se aplicará una multa al contratista de 20 UF. Con esa confirmación, el sistema:

- Determina si el contrato opera bajo la modalidad de proporciones presupuestarias fijas o variables, según el campo correspondiente en la base de datos.
- Calcula automáticamente el monto que corresponde a cada centro gestor y fondo, ya sea aplicando las proporciones definidas o descontando los montos fijos configurados.
- Elimina de la plantilla, sin intervención manual, las filas de centros gestores no utilizados por ese contrato en particular, evitando que el documento final contenga campos vacíos o inconsistentes.
- Presenta una vista previa organizada en pestañas (identificación del contratista, servicio y EdP, jefaturas, imputación presupuestaria y destinatarios) para que el administrador revise la totalidad de los datos antes de generar el documento final.

Como se aprecia en la siguiente imagen, dentro de una de las 5 ventanas que debe revisar el administrador o analista, se encuentran parámetros como la Subgerencia del servicio y la multa que fue digitada previamente. Como el usuario señaló que sí hay multa, se añaden automáticamente dos anexos obligatorios, el certificado de multa y comprobante de pago.

**Figura 15:** Pantalla 4.1 Portal Automatización

**Auditoría de Parámetros: Vista Previa del CAS (5 Ítems)**

I. Contratista y Admin   II. Servicio y EdP   **III. Jefaturas y Extras**   IV. Imputación Presupuestaria   V. Destinatarios HES

Línea Organizacional: MANTENIMIENTO PEAJES Y EQUIPOS / [Redacted]

Subgerente: [Redacted]

Multa Aplicada: SI - 20.0 UF

Observaciones: Sin observaciones

Anexos: , Certificado de multa y comprobante de pago multa

**Generar y Descargar Documento CAS**

Uno de los principales cuellos de botella en la generación manual de documentos es la imputación presupuestaria. En términos simples, el monto neto del pago de un

servicio debe distribuirse entre una o varias cuentas presupuestarias de la subgerencia, cada una asociada a un centro gestor y un fondo específico. Esta distribución varía según el contrato y puede adoptar dos modalidades.

En la primera, el monto se divide en proporciones fijas previamente definidas: si un contrato asigna el 60 % a un centro gestor y el 40 % a otro, esas proporciones se aplican directamente sobre el monto neto de cada EdP. En la segunda, ciertos centros gestores reciben montos fijos independientes del total, y el saldo restante se imputa al centro gestor principal.

En el proceso manual, el administrador debía calcular estos valores cada vez, consultando las reglas del contrato desde la base de datos y realizando la aritmética de forma independiente para cada documento, lo que constituía una fuente directa de error aritmético sin ningún mecanismo de verificación.

El portal elimina este paso por completo. Al momento de generar el CAS, la herramienta consulta automáticamente la configuración de imputación del contrato en la base de datos maestra, determina si opera bajo la modalidad de proporciones o de montos fijos, calcula los valores correspondientes a cada centro gestor y fondo, y los incorpora directamente al documento.

Siguiendo con el ejemplo mencionado, a continuación se muestra la vista previa de la pestaña de la imputación presupuestaria del servicio seleccionado:

**Figura 16:** Pantalla 4.2 Portal Automatización

 **Auditoría de Parámetros: Vista Previa del CAS (5 Ítems)**

I. Contratista y Admin II. Servicio y EdP III. Jefaturas y Extras **IV. Imputación Presupuestaria** V. Destinatarios HES

|   | Línea | Cuenta     | Centro Gestor | Fondo      | Monto (UF)           |
|---|-------|------------|---------------|------------|----------------------|
| 0 | 1     | 4010120514 | 10MN012300    | 1012051401 | <input type="text"/> |
| 1 | 2     | 4010120514 | 10NE060108    | 1012051404 | <input type="text"/> |
| 2 | 3     | 4010120514 | 10NE060110    | 1012051404 | <input type="text"/> |
| 3 | 4     | 4010120514 | 10NE060104    | 1012051404 | <input type="text"/> |
| 4 | 5     | 4010120514 | 10NE060107    | 1012051404 | <input type="text"/> |

 **Total en Tabla de Cuentas:** 5,061.5179 UF

 **Generar y Descargar Documento CAS**

Finalmente, luego de que el administrador revisa la vista previa organizada en pestañas y confirma que los parámetros son correctos, la herramienta genera el Certificado de Aceptación de Servicios en formato Word con un solo clic, listo para su descarga con nomenclatura estandarizada.

**Figura 17:** Resultado N°2: CAS Parte 1

GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
SUBGERENCIA SERVICIOS DE MANTENIMIENTO




**Fecha Emisión**  
24-06-2026

**CERTIFICADO DE ACEPTACION DE SERVICIOS**

☐

**I. IDENTIFICACION DEL CONTRATISTA**

|                                    |                      |                                            |                      |
|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|----------------------|
| <b>NOMBRE CONTRATISTA</b>          |                      | <input type="text"/>                       |                      |
| <b>IDENTIFICACION DEL SERVICIO</b> |                      | Servicio de <input type="text"/>           |                      |
| <b>N° CONTRATO</b>                 | <input type="text"/> | <b>N° PEDIDO ABIERTO / ORDEN DE COMPRA</b> | 4600003239           |
| <b>NOMBRE CONTACTO CONTRATISTA</b> |                      | <input type="text"/>                       |                      |
| <b>TELEFONO FIJO</b>               | -                    | <b>TELEFONO MÓVIL</b>                      | <input type="text"/> |
|                                    |                      | <b>E-MAIL</b>                              | <input type="text"/> |

**II. CERTIFICACION DEL SERVICIO**

El Sr.  Subgerente de Mantenimiento Peajes y Equipos que suscribe, certifica que ha recibido a total conformidad los servicios ejecutados por el Contratista, de acuerdo con las condiciones formalmente pactadas mediante el contrato

**Figura 18:** Resultado N°2: CAS Parte 2

**III. DETALLE DEL PAGO DEL SERVICIO**

|                                                  |    |                                                                                                                                                                                 |                                                                                  |                 |   |                   |                |                 |            |
|--------------------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---|-------------------|----------------|-----------------|------------|
| ESTADO DE PAGO N°<br>(si aplica)                 | 42 | BREVE DESCRIPCION DEL SERVICIO<br>QUE AUTORIZA A PAGO                                                                                                                           |                                                                                  |                 |   |                   |                |                 |            |
| MONTO NETO<br>(sin impuestos)                    |    | TIPO MONEDA (marcar con X)<br>Si es distinta a CLP indicar valor y fecha moneda                                                                                                 |                                                                                  |                 |   | PARIDAD<br>MONEDA |                | FECHA<br>MONEDA |            |
| UF                                               |    | CLP                                                                                                                                                                             |                                                                                  | UF              | X | USD               | \$ 39.841,72.- |                 | 31-03-2026 |
| MONTO AFECTO IVA                                 |    | AFECTO                                                                                                                                                                          |                                                                                  | PERIODO A PAGAR |   |                   | MARZO 2026     |                 |            |
| APLICA MULTA (SI/NO)<br>(indicar monto y moneda) |    | SI<br>20.0 UF                                                                                                                                                                   | SUJETO A LEY DE SUBCONTRATACION<br>(SI/NO) (adjuntar Cert. Cumplimiento Laboral) |                 |   |                   | SI             |                 |            |
| OBSERVACIONES                                    |    | Sin observaciones                                                                                                                                                               |                                                                                  |                 |   |                   |                |                 |            |
| ANEXOS<br>(detallar)                             |    | Carta de conformidad de pago, Estado de pago, Estado de Pago Metro, KPI accidentabilidad, Certificado de IRC, Informe Mensual, Certificado de multa y comprobante de pago multa |                                                                                  |                 |   |                   |                |                 |            |

**IV. IDENTIFICACION DEL ADMINISTRADOR METRO S.A.**

|                                   |                                                              |            |            |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------|------------|
| GERENCIA/SUBGERENCIA/ DEPTO       | GERENCIA DE MANTENIMIENTO / MANTENIMIENTO PEAJES Y EQUIPOS / |            |            |
| CUENTA PRESUPUESTARIA             | CENTRO GESTOR                                                | FONDO      | MONTO NETO |
| 4010120514                        | 10MN012300                                                   | 1012051401 |            |
| 4010120514                        | 10NE060108                                                   | 1012051404 |            |
| 4010120514                        | 10NE060110                                                   | 1012051404 |            |
| 4010120514                        | 10NE060104                                                   | 1012051404 |            |
| 4010120514                        | 10NE060107                                                   | 1012051404 |            |
| NOMBRE ADMINISTRADOR DEL CONTRATO |                                                              |            |            |
| TELEFONO                          |                                                              | E-MAIL     |            |

**Figura 19:** Resultado N°2: CAS Parte 3

**V. DESTINATARIOS PARA HES AUTOMATICA DE CONTRATO MARCO**

|        |  |        |  |
|--------|--|--------|--|
| NOMBRE |  | E-MAIL |  |
| NOMBRE |  | E-MAIL |  |

Subgerente Mantenimiento Peajes y Equipos  
GMAN Metro S.A.

Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 1414  
Santiago - Chile  
Tel: +56(2) 2937 2000 - 2937 3000  
[www.metro.cl](http://www.metro.cl)



Como ambos documentos generados están en formato Word, lo único que queda para el administrador como tarea es revisar el CAS y Carta de conformidad para confirmar

que lo digitado en el portal se refleje en los documentos finales, y posteriormente pasarlos a formato PDF.

#### **8.4.4. Rol del administrador tras la automatización**

Es importante precisar que el portal no elimina la intervención del administrador, sino que la redefine. De acuerdo con la clasificación del análisis de valor agregado (Tabla 2), las actividades que el sistema absorbe corresponden en su totalidad a actividades sin valor agregado, como búsqueda manual de datos, transcripción entre documentos y cálculo presupuestario, mientras que las actividades de valor agregado al cliente y al negocio permanecen bajo responsabilidad exclusiva del administrador: la validación del contenido del informe del contratista, la decisión sobre la aplicación de multas u observaciones, la revisión final de la vista previa por pestañas, y la firma de los documentos generados. La firma del CAS y la liberación de la HES en SAP, en particular, siguen siendo responsabilidad de los profesionales autorizados en línea con los controles internos vigentes de Metro de Santiago, y no son automatizables dentro del alcance de este proyecto.

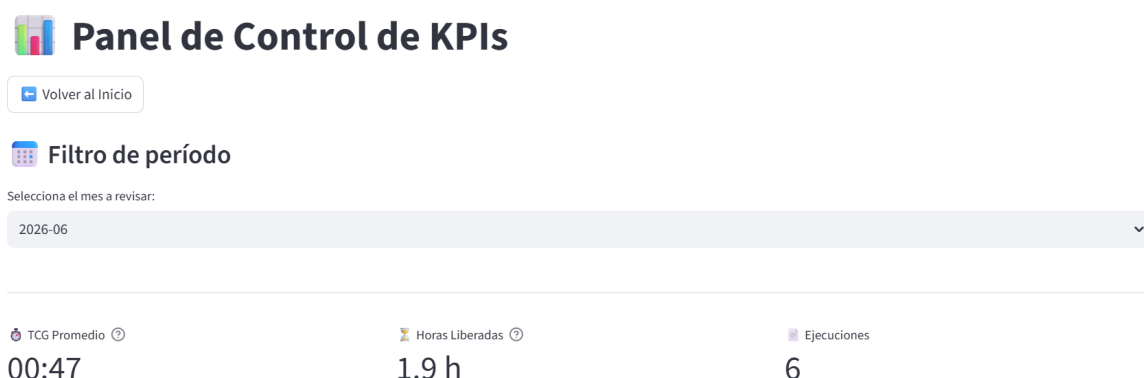
Lo que la herramienta sí transforma es el punto de partida de esa revisión: el administrador llega a la etapa de validación con un documento ya construido y contrastado contra la base de datos maestra, en lugar de uno por construir. Esta diferencia es la que contrae el tiempo total del ciclo de generación documental y constituye el resultado central de la fase Mejorar.

## 8.5. Controlar la mejora

La fase Controlar tiene como propósito garantizar que los beneficios obtenidos en la fase Mejorar se mantengan en el tiempo una vez que el proyecto concluya. En procesos administrativos digitalizados, esto implica dos condiciones: que la herramienta continúe operando correctamente y que exista un mecanismo de seguimiento que permita detectar desviaciones antes de que se consoliden como problemas.

Para cumplir este propósito, el portal incorpora un panel de control de indicadores clave de desempeño (KPI) como quinta pantalla de la aplicación, accesible desde el menú principal. Este panel se alimenta automáticamente del historial de ejecuciones registrado por la herramienta y está diseñado para ser revisado mensualmente por el Jefe del área de Administración de Contratos, quien actúa como responsable del proceso y único actor con visibilidad sobre la totalidad de los contratos gestionados por el equipo.

**Figura 20:** Pantalla 5 Portal Automatización



### 8.5.1. KPIs seleccionados

Se definen tres indicadores para el control del proceso automatizado, cada uno orientado a una dimensión distinta del desempeño: la eficiencia del tiempo de generación, el impacto acumulado sobre la carga de trabajo del equipo y la calidad de los documentos producidos.

- **Tiempo de Ciclo de Generación (TCG):** El TCG mide el tiempo transcurrido

desde que el administrador inicia la herramienta en la pantalla 1 hasta que descarga exitosamente el CAS en la pantalla 4. Su fórmula es la siguiente:

$$TCG = T_{\text{descarga CAS}} - T_{\text{inicio Paso 1}} \quad (1)$$

expresado en minutos y segundos (MM:SS). Este valor se registra automáticamente en el historial de ejecuciones al momento de cada descarga, por lo que no requiere ninguna acción adicional del administrador. El mismo portal genera una BBDD descargable que registra el historial de usos.

La frecuencia de revisión es doble. A nivel de ejecución, el panel muestra el TCG de cada proceso individual, lo que permite identificar casos atípicos donde un contrato particular tomó más tiempo del esperado. A nivel mensual, el panel calcula y despliega el promedio del TCG sobre todas las ejecuciones del mes seleccionado, que es el valor que el Jefe de Contratos debe revisar en su control periódico.

La línea base de este indicador corresponde a 20 minutos por documento, valor obtenido mediante juicio experto en la fase Medir, que representa un tiempo promedio de elaboración manual de un proceso considerado «rápido» del CAS y la Carta de Conformidad antes de la implementación del portal. La meta definida es un TCG inferior a 5 minutos por ejecución, lo que representa una reducción del 75 % respecto al proceso manual.

- **Horas-Hombre Liberadas (HHL):** El HHL mide el tiempo administrativo recuperado de forma acumulada respecto al proceso manual, calculado sobre el total de ejecuciones registradas en el período seleccionado. Su fórmula es:

$$HHL = \frac{20 \times N - \sum TCG_{\min}}{60} \quad (2)$$

donde N es el número de ejecuciones del período y

$$\sum TCG_{\min} \quad (3)$$

es la suma de los tiempos de generación expresados en minutos. El resultado se expresa en horas y es calculado automáticamente por el panel a partir del historial filtrado. Este indicador es dependiente del TCG: a menor tiempo de generación, mayor ahorro acumulado. Su función en el panel es traducir la eficiencia operativa del portal en un impacto concreto y comprensible para la jefatura, expresado en horas de trabajo recuperadas que el equipo puede destinar a actividades de mayor valor agregado. La meta mensual es de 2,0 horas liberadas o más, equivalente a un ahorro mínimo de 15 minutos por contrato sobre los 8 servicios del piloto.

- **Tasa de Documentos sin Corrección posterior (TDC):** El TDC mide la proporción de CAS generados por el portal que fueron aceptados en el flujo de firmas sin necesidad de ser rehecho. A diferencia de los dos indicadores anteriores, este no es calculado automáticamente por el sistema, sino que requiere un registro mensual por parte del Jefe de Contratos. Su fórmula es:

$$TDC = \frac{D_{\text{aceptados sin corrección}}}{D_{\text{total generados}}} \times 100 \quad (4)$$

expresado como porcentaje. La fuente de datos combina el historial de ejecuciones del portal con el reporte verbal o escrito de los administradores sobre rechazos ocurridos en el flujo de firmas durante el mes.

Para la correcta interpretación de este indicador, es necesario distinguir entre correcciones atribuibles a la herramienta y correcciones originadas en condiciones externas. Un documento que deba rehacerse porque el subgerente solicitó un cambio de criterio, porque el contratista actualizó su EdP después de la generación, o porque se tramitaron pagos atrasados que generan discrepancias de numeración en la base de datos, no debe contabilizarse como falla del portal. Solo se registra como corrección atribuible cuando el error proviene de un dato mal extraído o mal calculado por la herramienta. La meta definida es un TDC igual o superior al 90 %.

### 8.5.2. Resumen plan de control

La Tabla 5 consolida los tres indicadores con sus parámetros de medición, permitiendo que el Jefe de Contratos cuente con una referencia operativa clara para la revisión mensual del proceso.

Tabla 5: Plan de control del proceso automatizado

| KPI | Fórmula                                                         | Frecuencia              | Responsable       | Meta                  |
|-----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|
| TCG | $T_{\text{fin}} - T_{\text{inicio}}$                            | Por ejecución y mensual | Jefe de Contratos | < 5 min por ejecución |
| HHL | $\frac{20 \times N - \sum TCG_{\text{min}}}{60}$                | Mensual acumulado       | Jefe de Contratos | $\geq 2,0$ h por mes  |
| TDC | $\frac{D_{\text{sin corrección}}}{D_{\text{total}}} \times 100$ | Mensual                 | Jefe de Contratos | $\geq 90$ %           |

Fuente: Elaboración propia.

### 8.5.3. Protocolo de revisión mensual

Con el propósito de asegurar la sostenibilidad del proceso más allá del período de implementación, se define un protocolo de revisión mensual que el Jefe de Contratos puede ejecutar en la primera semana de cada mes directamente desde el portal web.

Dado que la herramienta cuenta con un módulo de administración y monitoreo centralizado, el Jefe de Contratos puede acceder en tiempo real al historial completo de ejecuciones y a las métricas de calidad de todos los usuarios de la unidad, eliminando la necesidad de consolidar archivos Excel individuales de forma manual.

El protocolo de revisión se estructura en los siguientes pasos:

1. **Consulta del Historial Centralizado y Métricas:** El Jefe de Contratos ingresa al panel de control del portal, selecciona el período correspondiente (mes anterior)

y revisa el consolidado general de ejecuciones de todos los administradores.

2. **Evaluación de Desempeño y Tiempos de Ciclo:** Se verifica el Tiempo de Ciclo de Generación (TCG) promedio y las Horas Hombre Liberadas (HHL) acumuladas. Si el TCG promedio supera los 5 minutos, corresponde identificar qué contratos o usuarios presentaron tiempos atípicos y determinar si la causa responde a un factor operativo (como un Estado de Pago con formato irregular) o a una eventualidad técnica en la plataforma.
3. **Control de Métricas de Calidad e Incidencias:** Se analizan directamente en el portal las métricas de calidad, revisando la tasa de documentos generados sin corrección posterior y la existencia de rechazos en el flujo de firmas. Si la Tasa de Documentos Correctos (TDC) cae por debajo del 90 %, se examinan los tipos de errores registrados para determinar si obedecen a fallas del portal o a factores externos.

## 9. Resultados

La validación de la solución implementada se realizó mediante una prueba controlada sobre documentación histórica real del área. Para cada uno de los 8 servicios incluidos en el piloto, se seleccionaron 3 expedientes de pago correspondientes a períodos anteriores que ya habían completado exitosamente el flujo de aprobación, es decir, cuyo CAS y Carta de Conformidad habían sido firmados y liberados sin observaciones. Esto resultó en un total de 48 documentos generados por el portal, 24 CAS y 24 Cartas de Conformidad, cuyos resultados fueron contrastados directamente contra los documentos originales elaborados de forma manual.

### 9.1. Tiempo de Ciclo de Generación (TCG):

El tiempo promedio de elaboración manual del CAS y la Carta de Conformidad, medido en la fase Medir mediante juicio experto con administradores y analistas del área, corresponde a 20 minutos por contrato, con variaciones que oscilan entre 15 minutos en los casos más simples (y típicos) y 30 minutos en contratos con múltiples centros gestores o proporciones presupuestarias.

Durante la prueba controlada realizada por el autor de esta Memoria, el proceso completo en el portal, que incluye la selección del contrato, la carga del EdP, la revisión de la tabla de contrastación, la confirmación de la vista previa por pestañas y la descarga de ambos documentos, tomó en promedio 2 minutos por servicio. Este valor incorpora el tiempo de revisión activa de cada parámetro desplegado por la herramienta, replicando las condiciones de uso real que tendría un administrador al operar el portal por primera vez.

La Tabla 6 resume la comparación entre el proceso manual y el proceso automatizado para los indicadores TCG y HHL:

Tabla 6: Comparación de indicadores antes y después de la automatización.

| Indicador                            | Proceso manual                          | Portal automatizado | Meta          |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|---------------|
| TCG promedio                         | 20 min/contrato                         | 2 min/contrato      | < 5 min       |
| Reducción del TCG                    | 90 % de reducción respecto al caso base |                     | 75 %          |
| HHL mensual proyectada (8 contratos) | 0 h liberadas                           | 2,4 h/mes           | $\geq 2,0$ h  |
| TDC                                  | No medido                               | 100 %               | $\geq 87,5$ % |

Fuente: Elaboración propia.

## 9.2. Horas-Hombre Liberadas (HHL)

Aplicando la fórmula definida en la sección 9.5.1 sobre los 8 contratos del piloto con un TCG promedio de 2 minutos y un baseline de 20 minutos:

$$HHL = \frac{20 \times 8 - (2 \times 8)}{60} = \frac{160 - 16}{60} = \frac{144}{60} = 2,4 \text{ h/mes} \quad (5)$$

El resultado proyectado es de 2,4 horas liberadas por mes sobre los 8 contratos del piloto, superando la meta definida de 2,0 horas mensuales. Si el proyecto logra escalar sobre la totalidad de los 27 contratos activos del área, el ahorro potencial alcanzaría las 8,1 horas mensuales, equivalentes a más de una jornada laboral completa recuperada mensualmente para actividades de mayor valor agregado.

## 9.3. Tasa de Documentos sin Corrección posterior (TDC)

Los 48 documentos generados por el portal durante la prueba controlada produjeron resultados equivalentes o superiores a los documentos originales elaborados manualmente. En ningún caso se detectó un error atribuible a la herramienta. A pesar de este

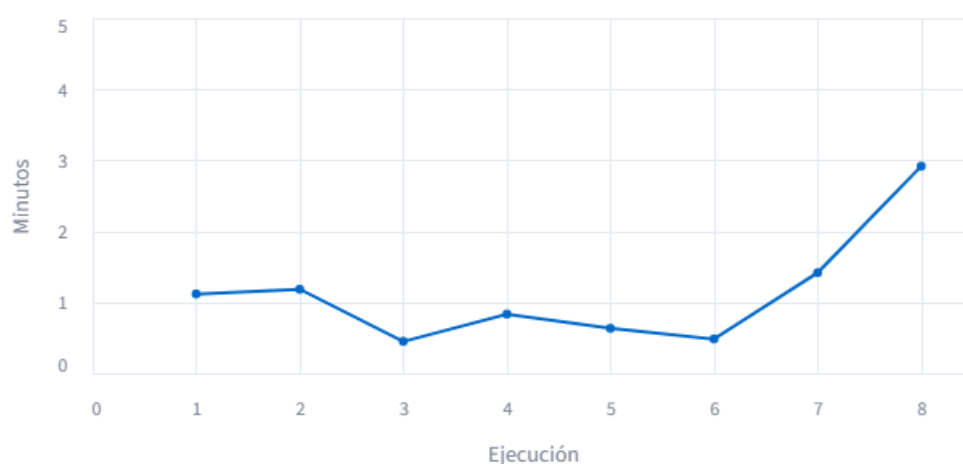
resultado, sería poco realista decir que siempre se obtiene una TDC del 100 %, pues solo se trata de la fase de prueba.

Adicionalmente, la prueba reveló un hallazgo no anticipado: en algunos expedientes históricos, los documentos originales presentaban omisiones menores que no habían generado rechazo formal en el flujo de firmas pero que representaban un riesgo latente ante fiscalizaciones futuras. El caso más recurrente (4 CAS de los 24 en total) fue la ausencia del departamento asociado a la subgerencia en el campo de línea organizacional del CAS. El portal resuelve esta omisión de forma estructural, dado que ese campo se extrae directamente desde la base de datos maestra y se incorpora automáticamente al documento cuando corresponde, sin depender de que el administrador lo recuerde en cada caso.

#### 9.4. Gráfico de seguimiento

Con el propósito de facilitar el monitoreo mensual por parte del Jefe de Contratos, el panel de control incorpora un gráfico de evolución de la TCG que representa el tiempo de generación de cada ejecución registrada en el historial, expresado en minutos. La Figura 20 muestra un ejemplo de este gráfico.

**Figura 21:** Gráfico de visualización de seguimiento de la aplicación



*Nota: Este gráfico no representa las ejecuciones de prueba sobre los 8 servicios que resultan en un TCG de 2 min*

El eje horizontal corresponde al número de ejecución en orden cronológico, mientras que el eje vertical representa el tiempo de generación en minutos. Cada punto del gráfico corresponde a un CAS generado, permitiendo identificar de forma inmediata si alguna ejecución particular se alejó del comportamiento esperado. La línea de tendencia conecta los puntos en orden de ejecución, facilitando la lectura del patrón general del período sin necesidad de revisar el historial fila por fila.

La utilidad de este gráfico para el Jefe de Contratos reside en su simplicidad interpretativa: cualquier punto que se aleje notoriamente hacia arriba respecto al resto indica un contrato que tomó más tiempo del habitual, lo que puede deberse a un EdP con formato irregular, a una discrepancia detectada en el Paso 2 que requirió verificación adicional, o a una primera vez de uso por parte de un administrador que aún no está familiarizado con la herramienta. En todos esos casos, el gráfico actúa como señal de alerta que orienta la conversación mensual entre el jefe y su equipo, sin requerir análisis técnico adicional.

### **9.5. Tasa de rechazo en el flujo de firmas**

Como se estableció en la fase Medir, el proceso manual presenta una tasa de rechazo histórica de 1 expediente devuelto por mes, según el registro del Ingeniero de Gestión. Este rechazo ocurre cuando el documento llega al flujo de firmas con inconsistencias detectables, como un número de EdP que no corresponde al registrado en la base de datos, cuentas presupuestarias incorrectas o campos con información incompleta.

Durante la prueba controlada, ninguno de los 48 documentos generados por el portal presentó inconsistencias de este tipo. Los mecanismos de validación cruzada implementados en el Paso 2, que contrastan automáticamente los valores extraídos del EdP contra la base de datos maestra antes de permitir el avance, actúan como barrera preventiva equivalente a la revisión que hoy realiza el Ingeniero de Gestión de forma manual. En este sentido, el portal no solo reduce el tiempo de generación documental sino que desplaza el control de calidad hacia el inicio del proceso, donde corregir una discrepancia tiene costo cero en términos de flujo de firmas.

## 9.6. Síntesis de resultados

Los resultados de la prueba controlada confirman que el portal cumple con los tres objetivos operacionales definidos en la fase Mejorar. El TCG se redujo un 90 % respecto al baseline, superando la meta del 75 % de reducción proyectada. Las HHL mensuales proyectadas sobre el piloto alcanzan las 2,4 horas, por encima de la meta de 2,0 horas. Por último, la TDC alcanzó el 100 % sobre la muestra evaluada, superando la meta del 87,5 % con documentos de calidad equivalente o superior a los generados manualmente.

Más allá del cumplimiento de las metas, el resultado más relevante desde la perspectiva del proceso es el cambio en el rol del administrador durante la generación documental: en lugar de construir el documento, el administrador lo revisa. Este desplazamiento desde la digitación hacia la validación es el resultado concreto que la fase Analizar identificó como el objetivo central de la intervención, y que los resultados de la prueba controlada confirman como alcanzado.

## 10. Conclusiones y discusión

El presente trabajo aplicó el ciclo DMAIC al proceso de gestión de pago a contratistas en el área de Administración de Contratos de la Gerencia de Mantenimiento de Metro de Santiago, con el propósito de diagnosticar sus ineficiencias estructurales e implementar una solución de automatización documental que redujera el tiempo de ciclo y eliminara los errores de transcripción como fuente de riesgo operacional.

El recorrido por las cinco fases del ciclo permite extraer conclusiones en tres niveles: sobre el diagnóstico del proceso, sobre la solución implementada y sobre las condiciones necesarias para su sostenibilidad.

### 10.1. Sobre el diagnóstico del proceso

La fase Definir confirmó que el problema central del área no era de capacidad ni de volumen de trabajo, sino de diseño del proceso. La elaboración manual del CAS y la Carta de Conformidad consumía en promedio 20 minutos por contrato, equivalentes a más de 108 horas anuales invertidas en una actividad que no requiere juicio profesional sino precisión en la copia de datos ya disponibles en otro documento. Este tiempo no era percibido como un costo inevitable por los responsables del área, sino como un costo de oportunidad concreto que desplazaba funciones de mayor valor: la administración sustantiva de los contratos, el control presupuestario y el ingreso de pagos en SAP.

La fase Medir tradujo esa percepción en magnitudes verificables y agregó una dimensión adicional al problema: no todos los contratos presentan el mismo nivel de exposición al riesgo. Los 8 servicios seleccionados para el piloto corresponden a aquellos cuyo contratista entrega la documentación con un desfase de 15 a 20 días respecto al cierre del mes, reduciendo el margen interno disponible para completar el ciclo dentro del plazo institucional de 30 días a un mínimo donde cualquier error de transcripción, y su consecuente rechazo en el flujo de firmas, puede comprometer directamente el cumplimiento. La tasa de rechazo histórica de 1 expediente devuelto por mes, relevada mediante entrevista con el Ingeniero de Gestión, confirmó que este riesgo no era hipotético sino observable y recurrente.

La fase Analizar identificó que las causas raíz de las ineficiencias no se concentran en un único factor sino en la concurrencia de tres categorías estructurales: factores asociados a la persona, donde la fatiga cognitiva generada por la transcripción repetitiva bajo presión de plazos degrada la calidad del resultado incluso con alta capacitación; factores documentales, donde la ausencia de plantillas con validación automática y la falta de estandarización entre administradores amplifica la variabilidad del output; y factores sistémicos, donde la desconexión entre las fuentes de información del proceso obliga a ingresar los mismos datos en múltiples soportes de forma independiente, multiplicando la exposición al error en cada transferencia. El análisis de valor agregado complementó este diagnóstico revelando que 6 de las 11 actividades del flujo analizado correspondían a actividades sin valor agregado, y que estas concentraban la mayor parte del tiempo de elaboración.

## **10.2. Sobre la solución implementada**

La fase Mejorar diseñó e implementó un portal de automatización documental de despliegue local que integra tres componentes funcionales: un motor de extracción que lee el EdP del contratista buscando por etiqueta de texto en lugar de posición fija de celda, un motor de reglas de negocio que aplica la lógica de imputación presupuestaria correspondiente a cada contrato y calcula automáticamente la distribución del monto neto entre centros gestores y fondos, y un motor de generación documental que produce el CAS y la Carta de Conformidad en formato Word con nomenclatura estandarizada.

La validación de la solución mediante prueba controlada sobre 24 expedientes históricos reales arrojó resultados que superan las metas definidas en los tres indicadores. El TCG promedio se redujo de 20 minutos a 2 minutos por contrato, equivalente a una reducción del 90 % respecto al baseline, por encima de la meta del 75 % proyectada. Las horas-hombre liberadas mensuales sobre los 8 contratos del piloto alcanzan las 2,4 horas, superando la meta de 2,0 horas, con un potencial de 8,1 horas mensuales si la herramienta se extiende a la totalidad de los 27 contratos activos del área. La tasa de documentos sin corrección posterior alcanzó el 100 % sobre la muestra evaluada, superando la meta del

87,5 %.

Más allá del cumplimiento de las metas numéricas, la prueba reveló un resultado no anticipado de relevancia para la calidad documental del área: en algunos expedientes históricos que habían completado exitosamente el flujo de aprobación, el portal detectó omisiones menores que no habían generado rechazo formal pero que representaban un riesgo latente ante fiscalizaciones futuras. El caso más recurrente fue la ausencia del departamento asociado a la subgerencia en el campo de línea organizacional del CAS, campo que la herramienta extrae automáticamente desde la base de datos maestra y que ahora queda blindado por diseño. Este hallazgo ilustra que el valor de la automatización no se limita a la eficiencia del proceso, sino que también fortalece la consistencia y trazabilidad documental que el área requiere para respaldar sus operaciones ante auditorías internas.

El resultado más relevante desde la perspectiva del proceso, sin embargo, no es ninguno de los indicadores anteriores sino el cambio en el rol del administrador durante la generación documental. En lugar de construir el documento, el administrador lo revisa. Este desplazamiento desde la digitación hacia la validación es precisamente el objetivo que el Jefe de Contratos identificó en la fase Definir como la necesidad prioritaria del área, y que los resultados de la prueba controlada confirman como alcanzado.

### **10.3. Sobre las condiciones de sostenibilidad**

La fase Controlar estableció un plan de monitoreo basado en tres indicadores con fórmulas, fuentes de datos, frecuencias y responsables definidos, cuya revisión mensual recae en el Jefe del área de Administración de Contratos. Este diseño responde a una condición fundamental para la sostenibilidad de cualquier mejora de proceso: que el control no dependa de la presencia del equipo que implementó la solución, sino que quede institucionalizado en la rutina operativa del área bajo la responsabilidad de quien tiene autoridad y visibilidad sobre el proceso completo.

No obstante, la sostenibilidad de la solución a largo plazo está condicionada por limitaciones que esta memoria reconoce explícitamente. La actualización de la base de datos maestra sigue siendo manual y depende de que el responsable designado incorpo-

re oportunamente cualquier cambio en los parámetros contractuales; una base de datos desactualizada produce documentos incorrectos con independencia de la calidad del portal. El piloto cubre 8 de los 27 contratos activos, y la extensión hacia los 19 restantes requiere la incorporación de sus parámetros y, en algunos casos, la definición de lógicas de imputación específicas. Y el despliegue definitivo de la herramienta en infraestructura institucional compartida, condición necesaria para que el Jefe de Contratos acceda al historial consolidado de todos los administradores sin intervención manual, requiere la coordinación con el área de Tecnologías de la Información y escapa al alcance de esta memoria. Estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos ni la viabilidad de la solución, pero sí delimitan con precisión el trabajo que resta para consolidar la mejora más allá del período del piloto. La herramienta está construida, validada y documentada. El paso siguiente es institucional, no técnico.

#### **10.4. Reflexión metodológica**

Finalmente, los resultados de este trabajo permiten confirmar que el ciclo DMAIC cumple una función que va más allá de la organización formal del informe. Su valor metodológico reside en que impone una disciplina que impide saltar a la solución antes de entender el problema. Sin la fase Medir, la intervención podría haberse diseñado para reducir el tiempo de elaboración en la totalidad de los 27 contratos sin identificar que el riesgo real se concentra en los 8 de mayor sensibilidad temporal. Sin la fase Analizar, la automatización podría haberse implementado sin abordar las causas estructurales de los errores, produciendo una herramienta más rápida pero no necesariamente más confiable. Y sin la fase Controlar, los beneficios obtenidos quedarían sujetos a la continuidad del equipo que los generó, en lugar de quedar institucionalizados en la operación del área.

La combinación de un diagnóstico estructurado con una intervención tecnológica ajustada a las causas raíz identificadas, y no a las soluciones disponibles, es la que permite que una herramienta desarrollada con tecnología de código abierto y despliegue local produzca resultados comparables a los que habitualmente se asocian a plataformas de automatización de mayor costo y complejidad. El tamaño de la solución no determina su

impacto: lo determina la precisión con que responde al problema que diagnosticó.

## 11. Limitaciones

El presente proyecto reconoce las siguientes limitaciones, las cuales acotan el alcance de la solución implementada sin invalidar sus resultados ni su replicabilidad futura.

- **Actualización manual de la base de datos maestra:** La base de datos de contratos utilizada como fuente de verdad por el sistema se actualiza manualmente a partir de información extraída de SAP. Esto implica que cualquier cambio en los parámetros contractuales, como centros gestores, montos fijos, proporciones presupuestarias o datos de contacto, debe ser ingresado manualmente por el responsable designado para que el sistema refleje la información correcta. La herramienta no se integra directamente con SAP, por lo que la calidad de los documentos generados depende de la vigencia de los datos en la base de datos local.
- **Alcance del piloto:** La implementación cubre 8 de los 27 servicios activos administrados por el área. Esta selección no es aleatoria, corresponde a contratos de naturaleza recurrente con ciclo de pago mensual y de alta criticidad operativa para la Gerencia de Mantenimiento, lo que los convierte en los casos de mayor impacto y mayor volumen de trabajo administrativo. La escalabilidad hacia los 19 contratos restantes es técnicamente viable, pero requiere la incorporación de sus parámetros en la base de datos y, en algunos casos, la definición de lógicas de imputación presupuestaria específicas.
- **Dependencia del formato del Estado de Pago en Excel:** El sistema requiere que el Estado de Pago Metro esté disponible en formato Excel previamente validado por el administrador de contrato, con una estructura reconocible por el extractor. Documentos con formatos muy distintos al estándar definido, o entregados únicamente en PDF sin conversión, no pueden ser procesados automáticamente y requerirían intervención manual adicional.
- **Implementación mediante un servidor local:** La arquitectura de despliegue local descrita en este proyecto supone que cada usuario ejecuta la herramienta

directamente desde su estación de trabajo, lo cual es adecuado para el contexto del piloto pero resulta poco práctico como solución definitiva para el área. Replicar la instalación en cada equipo implicaría que todos los administradores de contrato instalen de forma independiente Python, las librerías asociadas y un entorno de ejecución compatible, generando una carga de configuración técnica que excede las competencias habituales del perfil del cargo y que introduce riesgos de inconsistencia entre versiones. La implementación oficial de la herramienta requeriría levantar un servidor interno gestionado por el área de Tecnologías de la Información, desde el cual todos los usuarios del área accedan al portal a través del navegador sin necesidad de ninguna instalación local. Esta fase de despliegue en infraestructura institucional no está considerada dentro del alcance de esta memoria, y su ejecución deberá coordinarse entre el área de Administración de Contratos y el equipo de TI como etapa posterior a la validación del piloto.

- **El sistema no reemplaza la validación final del administrador:** La herramienta actúa como asistente de generación documental y no como sistema de aprobación. La revisión del contenido generado, la firma de los documentos y la liberación de la Hoja de Entrada de Servicios en SAP siguen siendo responsabilidad exclusiva de los administradores y subgerentes autorizados, en línea con los controles internos vigentes de Metro de Santiago.

## 12. Anexos

### 12.1. Anexo 1: Explicación del código

El portal está implementado en un único archivo `app.py` organizado en seis bloques funcionales que se ejecutan de forma secuencial. A continuación se describe el propósito de cada bloque y los componentes que lo integran.

#### 12.1.1. Bloque 1: Configuración inicial y funciones de formato numérico

Este bloque importa las librerías necesarias para el funcionamiento del portal y define tres funciones de uso transversal que estandarizan la manipulación de valores numéricos a lo largo de toda la aplicación. La función *extraer\_numero* convierte celdas de Excel con formato numérico chileno, donde la coma actúa como separador decimal y el punto como separador de miles, a valores float compatibles con Python, resolviendo ambigüedades entre formatos mixtos. La función *formatear\_monto* realiza la operación inversa, transformando un float a su representación en formato chileno con decimales significativos para su inserción en los documentos Word. La función *formatear\_monto\_estRICTO\_4d* aplica el mismo criterio forzando exactamente cuatro decimales, utilizada específicamente para los montos de imputación presupuestaria donde la precisión es obligatoria.

#### 12.1.2. Bloque 2: Carga y consulta de la base de datos maestra

Este bloque inicializa la memoria de sesión de la aplicación, carga las tres hojas de la base de datos maestra de contratos: historial de pagos, información de contratos e información CAS; y define la función *preparar\_datos\_edp*. Esta función recibe el contrato seleccionado por el administrador, consulta el historial de pagos para determinar el último EdP registrado y calcula automáticamente el número de EdP siguiente y el período sugerido, que son los valores que el portal presenta como sugerencia al administrador en la Pantalla 1.

### 12.1.3. Bloque 3: Motor de extracción del EdP

Este bloque define la función *extraer\_datos\_edp\_robusto*, que constituye el núcleo técnico de la solución. A diferencia de un lector de Excel convencional que accede a celdas por coordenadas fijas, esta función recorre la hoja de cálculo buscando etiquetas de texto conocidas, como "N° Contrato", "Pedido", "Mes", "Paridad Moneda." "Total UF Neto", e identifica el valor asociado a cada etiqueta independientemente de su posición en el archivo. Este diseño permite que la función opere correctamente sobre distintas versiones del formato del EdP sin requerir ajustes manuales. Los valores extraídos son el número de contrato, el pedido abierto, el número de EdP, el mes y año del período, el monto neto en UF, la paridad de moneda y la fecha de moneda.

### 12.1.4. Bloque 4: Registro de ejecuciones y cálculo de KPIs

Este bloque define dos funciones orientadas al control del proceso. La función *registrar\_ejecucion* calcula el tiempo transcurrido entre el inicio del proceso en la Pantalla 1 y la descarga exitosa del CAS en la Pantalla 4, y escribe una nueva fila en el archivo *Historial\_Ejecuciones.xlsx* con los datos de la ejecución, incluyendo el contrato procesado, el período, el tiempo de generación y las discrepancias detectadas durante la validación cruzada. La función *calcular\_kpis* lee ese historial y calcula el TCG promedio y las horas-hombre liberadas acumuladas sobre el conjunto de ejecuciones del período seleccionado.

### 12.1.5. Bloque 5: Pantallas del portal

Este bloque implementa las cinco pantallas de la aplicación mediante una estructura de control condicional que evalúa el estado de navegación almacenado en memoria de sesión y renderiza la pantalla correspondiente. Cada pantalla es independiente y solo se ejecuta cuando el administrador avanza desde la anterior mediante el botón de confirmación.

La Pantalla 1 presenta el buscador de contratos filtrado a aquellos con configuración CAS activa, muestra los datos sugeridos por la base de datos e inicia el cronómetro de la ejecución al momento de confirmar.

La Pantalla 2 recibe el archivo Excel del EdP, invoca el motor de extracción del Bloque 3 y despliega la tabla de contrastación que compara cada valor extraído contra la base de datos maestra, alertando visualmente sobre discrepancias. En contratos con imputación dinámica por múltiples centros gestores, esta pantalla además extrae los montos individuales desde el EdP y verifica que su suma coincida con el total neto declarado.

La Pantalla 3 construye el contexto de la Carta de Conformidad con los datos validados y genera el documento Word mediante el motor de plantillas.

La Pantalla 4 aplica la lógica de imputación presupuestaria, proporcional o de montos fijos según la configuración del contrato en la base de datos, construye el contexto completo del CAS, presenta una vista previa organizada en pestañas para revisión del administrador, genera el documento Word eliminando automáticamente las filas de centros gestores no utilizados, y al momento de la descarga invoca la función *registrar\_ejecucion* del Bloque 4. La Pantalla 5 presenta el panel de control de KPIs con filtro mensual, las métricas TCG y HHL, el historial de ejecuciones en tabla y el gráfico de evolución del tiempo de ciclo.

## 12.2. Anexo 2: Librerías utilizadas

El portal fue desarrollado en Python utilizando cinco librerías externas, cada una seleccionada por su capacidad de resolver un problema específico del flujo de automatización documental. A continuación se describe la función de cada una dentro del sistema.

**Streamlit** es el framework sobre el cual se construye la interfaz del portal. Permite transformar un script de Python en una aplicación web interactiva sin necesidad de programación de frontend, generando automáticamente los elementos visuales: botones, selectores, tablas, gráficos y métricas; a partir de instrucciones declarativas en el código. Su elección responde a la necesidad de proveer una interfaz usable por administradores sin formación técnica, minimizando la complejidad de desarrollo y mantenimiento. Es la librería que hace posible la arquitectura de despliegue local descrita en la sección 8.4.4.

**Pandas** gestiona la lectura y manipulación de los datos tabulares del sistema. Se

utiliza para cargar las hojas de la base de datos maestra de contratos desde Excel, filtrar registros por pedido abierto o número de contrato, calcular el último EdP registrado en el historial de pagos y determinar el período sugerido para el siguiente ciclo. Su estructura DataFrame permite realizar estas operaciones de forma concisa y eficiente sobre los registros del área sin necesidad de recorrer los archivos fila por fila.

**Openpyxl** es la librería que ejecuta la extracción de parámetros desde el archivo Excel del Estado de Pago del contratista. A diferencia de pandas, que trabaja con estructuras tabulares normalizadas, openpyxl permite acceder al archivo Excel a nivel de celda individual, recorriendo filas y columnas en busca de etiquetas de texto conocidas como «N° Contrato», «Pedido» o «Total UF Neto». Este enfoque de búsqueda por etiqueta, en lugar de por posición fija, es el que otorga al motor de extracción su robustez frente a distintas versiones del formato del EdP. También se utiliza para escribir nuevas filas en el archivo *Historial\_Ejecuciones.xlsx* al momento de registrar cada ejecución completada.

**Docxtpl** es el motor de renderizado de plantillas que genera los documentos Word finales. Funciona tomando una plantilla .docx con marcadores de posición en formato variable y reemplazándolos con los valores del contexto construido por el portal, produciendo un documento Word completamente formateado y listo para su descarga. Su uso responde directamente a la necesidad de mantener el formato institucional del CAS y la Carta de Conformidad sin requerir que el portal construya los documentos desde cero. Adicionalmente, permite eliminar filas completas de las tablas del CAS cuando los centros gestores sobrantes deben ocultarse del documento final.

**Altair** es la librería de visualización de datos utilizada en el panel de control de KPIs. Genera el gráfico de evolución del tiempo de ciclo de generación a partir del historial de ejecuciones, renderizándolo directamente en la interfaz de Streamlit. Se eligió por su integración nativa con Streamlit y por su capacidad de producir gráficos interactivos, con tooltips al pasar el cursor sobre cada punto, sin configuración adicional.

**Python-dateutil** aporta la función *relativedelta*, utilizada para calcular correctamente el mes siguiente al último EdP registrado en el historial de pagos. A diferencia de operaciones aritméticas directas sobre fechas, dicha función maneja correctamente los

casos de meses con distinto número de días, como el paso de enero a febrero o de octubre a noviembre, evitando errores de desbordamiento en el cálculo del período sugerido.

### 13. Referencias

Monday, L. M. (2022). Define, measure, analyze, improve, control (DMAIC) methodology as a roadmap in quality improvement. *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*.

Adeodu, A., Aigbavboa, C., & Lesame, K. (2023). Application of lean six sigma for performance improvement in the construction industry: A systematic review. *Journal of Engineering, Design and Technology*.

Sundram, V. P. K., Ibrahim, A. R., & Govindaraju, V. G. R. (2023). Improving warehouse performance through lean six sigma: A review and research agenda. *International Journal of Productivity and Performance Management*.

Daniyan, I., Mpofu, K., Ramatsetse, B., & Adeodu, A. (2022). Application of lean six sigma methodology in the improvement of manufacturing processes: A review. *Procedia Manufacturing*.

Moura, R., & Delbem, A. C. B. (2025). Process mining and BPMN integration for business process improvement: A systematic approach. *Business Process Management Journal*.

Calabrò, G., & Lonetti, F. (2015). Modeling business processes through BPMN and simulation techniques. *International Journal of Computer Applications*.

Banu, A. S., Sushmitha, M., & Kumar, V. S. (2018). Business process modeling and notation: A comprehensive review. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*.

Hanea, A. M., & Nane, G. F. (2019). Process performance measurement using key performance indicators: A structured review. *Quality Innovation Prosperity*.

Colson, A. R., & Cooke, N. J. (2018). Monitoring process performance through visual KPI systems. *International Journal of Production Research*.

Post, C., & Anderson, N. (2026). Data-driven performance monitoring in administrative processes. *Journal of Operations Management*.

Morgan, J. (2014). The importance of metrics and KPIs in business process im-

provement. *Business Process Management Journal*.

Alowad, A., Samaranayake, P., & Ahamed, S. (2020). The role of key performance indicators in process improvement and control. *International Journal of Productivity and Quality Management*.

Pryor, M. G. (2011). The 5-why technique: A tool for root cause analysis. *International Journal of Lean Thinking*.

Danilova, M. (2018). Ishikawa diagrams as a quality management tool in process analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*.

Fleiner, N., & Yang, Y. (2025). Value-added analysis in process improvement initiatives. *Operations Management Research*.

Barsalou, M., & Starzyńska, B. (2023). Lean waste reduction and value analysis in administrative processes. *Quality Engineering*.

Carvalho, M., & Lobo, B. (2021). Human error in repetitive data transcription processes: Causes and implications. *International Journal of Industrial Ergonomics*.

Chauhan, R., Munshi, A., & Pradhan, A. (2025). The role of Python in enhancing radiotherapy department workflow efficiency and promoting open-source software utilisation. *Clinical Oncology*.

Gubasheva, K. A., Pynova, O. A., & Ganchaev, M. S. (2024). Automation of the process of economic reporting of an organization using Python and MS Excel language tools. *Ekonomika i Upravlenie: Problemy, Resheniya*.

Galimullin, N. R. (2024). Python: Using Python to automate everyday tasks. *Ekonomika i Upravlenie: Problemy, Resheniya*.

Kobzarenko, D. N., Savzikhanova, S. E., & Shikhsaidov, B. I. (2021). Automation means for controlling the correctness of typical sections in a university teacher's document. *Programmnaya Ingeneria*.

Funk, D., Pautasso, C., & Zimmermann, O. (2023). Creating a low-code business process execution platform with Python, BPMN, and DMN. *IEEE Software*.

Mozzillo, A. (2023). python-docx for document automation in professional environments. *Journal of Open Source Software*.

Petersohn, J. (2020). Template-based document generation with Docxtpl. *Python Software Foundation Documentation*.

McKinney, W. (2011). pandas: A foundational Python library for data analysis and statistics. *Python for High Performance and Scientific Computing*.

Safina, E. (2023). Open-source ecosystems for enterprise automation. *SoftwareX*.

Bantilan, N. (2020). Pandas in production: Practical data workflows with open-source tools. *Proceedings of the Python in Science Conference*.

Lamstein, A. (2025). Streamlit for interactive data applications in organizations. *Journal of Open Source Applications*.

Botrous, A. (2025). Deploying internal analytical dashboards with Streamlit. *Software Impacts*.

Vennela, G., & Pushpalatha, M. (2024). Open-source frameworks for business application development. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*.

Pilante, J., et al. (2024). Client-side rendering and lightweight deployment architectures for internal systems. *Journal of Systems Architecture*.

Chandra, A. Y., & Setyaningsih, P. W. (2025). Benchmarking local development environments: Analyzing the performance of XAMPP, MAMP, and Laragon. *Bulletin of Computer Science Research*.

Agrawal, A., Shinde, R., Viswanathan, V., Dhirwani, B. A., Agarwal, P., & Yerra, Y. S. (2025). Concurrency aware content delivery system with in-memory caching for private networks. In *2025 5th International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*.

Nogueira, B. (2025). Concurrency management in shared-file organizational applications. *Software: Practice and Experience*.

Martinelli, M., et al. (2021). Poka-yoke and error-proofing approaches in administrative and service processes. *Quality Engineering*.

Zhang, T. (2025). Research on optimization of construction management process of construction project. *Highlights in Science, Engineering and Technology*.

Sutam, E. D., Pei, F., Jia, J., Muhammad, N. A., Ab-Samat, H., Jeng, F. C., Prakash, J., Muhammad, N., & Sirivongpaisal, N. (2024). A comparative study on user satisfaction from manual to online information system using define-measure-analyze-improve-control (DMAIC) in service administrative process. *Journal of Advanced Research Design*.

Ramos, I. M. J. (2025). Maximizing cleaning efficiency and minimizing rework in a recycling facility using the DMAIC approach. *Production Engineering Archives*.