



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**Creación de un dashboard interactivo para apoyo al seguimiento de contratos de obra
pública**

Ana Karen Álvarez Goyes

Julio Alejandro Insuasty Moreno

Sebastián Arturo Rosero Mora

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Maestría en Ingeniería Civil — Gerencia de Construcciones

Directora: Grace Rojas Geraldino

22 de mayo de 2026

Resumen

El seguimiento contractual de obra pública en Colombia opera bajo un régimen normativo extenso, pero los actores cotidianos del contrato siguen dependiendo de hojas de cálculo dispersas y reportes *ad hoc* que no se actualizan al ritmo del corte, con detección tardía de desviaciones de costo, plazo y calidad como consecuencia operativa. Esta tesis se pregunta cómo construir un tablero interactivo que apoye dicho seguimiento bajo el régimen colombiano.

El trabajo adopta el paradigma *Design Science Research* y desarrolla el aplicativo Civil_BuildFlow, una plataforma web multiusuario para el seguimiento físico-financiero de contratos de obra pública. El aplicativo centraliza la información que los actores ya producen, automatiza el cálculo de seis indicadores —costo (CPI), cronograma (SPI(t)), estimación a la finalización (EAC), calidad (%LC), cartera (DSO) y variación de presupuesto ($\%\Delta P$)— y genera vistas ejecutivas y operativas diferenciadas por rol. La digitación primaria la realizan los actores; el aporte es eliminar la dispersión, automatizar los cálculos derivados, producir actas parciales como salida automática y exponer alertas configurables por contrato. La validación se ejecuta en dos niveles: prueba funcional sobre un caso real de agua potable y saneamiento básico, y encuesta perceptual a 21 profesionales con experiencia directiva en contratación de obra pública. El trabajo entrega un artefacto funcional con trazabilidad fórmula-norma documentada al régimen contractual colombiano y a los estándares internacionales de gerencia de proyectos.

Palabras clave: tablero interactivo, obra pública, indicadores de desempeño, *Design Science Research*, régimen contractual colombiano.

Abstract

Contract monitoring in Colombian public works operates under an extensive regulatory regime, yet the everyday actors of the contract still rely on dispersed spreadsheets and *ad hoc* reports that are not updated at the pace of the on-site cut-off, with late detection of cost, schedule and quality deviations as the operational consequence. This thesis asks how to build an interactive dashboard that supports such monitoring under the Colombian contracting regime.

The work adopts the *Design Science Research* paradigm and develops Civil_BuildFlow, a multi-user web platform for the physical and financial monitoring of public-works contracts. The platform centralizes the information that project actors already produce, automates the computation of six performance indicators —cost (CPI), schedule (SPI(t)), estimate at completion (EAC), quality (%LC), receivables (DSO) and budget variation ($\%\Delta P$)— and renders executive and operational dashboards differentiated by role. Primary data entry is performed by the actors; the contribution is to remove information dispersion, to automate derived computations, to produce progress certifications as automatic output and to expose alerts configurable per contract. Validation is conducted at two levels: a functional test over a real case study in the water and sanitation sector, and a perceptual survey of 21 professionals with managerial experience in public-works contracting. The work delivers a functional artifact with formula-to-source traceability documented to the Colombian contracting regime and to international project-management standards.

Keywords: interactive dashboard, public works, performance indicators, *Design Science Research*, Colombian contracting regime.

Glosario y abreviaturas

Sigla	Significado
AC	Costo real acumulado al corte de seguimiento.
AUI	Administración, Imprevistos y Utilidad. Componentes del costo indirecto del contrato, expresados como porcentaje aplicado al costo directo.
BAC	Presupuesto a la conclusión del proyecto, en pesos colombianos. Cumple $BAC = CD + AUI$.
CA	Criterio de Aceptación de la validación funcional del artefacto (CA1, CA2, CA3).
CCE	Colombia Compra Eficiente. Agencia Nacional de Contratación Pública.
CCI	Cámara Colombiana de la Infraestructura.
CD	Costo Directo del contrato. Sumatoria de ítems por cantidad por precio unitario. Controla el alcance físico de la obra.
CGR	Contraloría General de la República.
COP	Peso colombiano (moneda).
CPI	Índice de desempeño de costo: cociente entre valor ganado y costo real acumulado.
CV	Variación de costo: diferencia entre valor ganado y costo real acumulado.
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales.
DNP	Departamento Nacional de Planeación.
DSO	Días promedio entre presentación y pago de actas de cobro.
DSR	Investigación basada en el diseño y la evaluación de artefactos (<i>Design Science Research</i>).
EAC	Estimación del costo total a la conclusión del proyecto.
ES	Cronograma ganado, expresado en unidades de tiempo.
ETC	Estimación del costo necesario para completar el trabajo restante.
EV	Valor ganado: avance físico ejecutado valorado al precio contractual.
EVM	Gestión del valor ganado (<i>Earned Value Management</i>).

Sigla	Significado
ICA	Impuesto de Industria y Comercio (tributo municipal).
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
INVÍAS	Instituto Nacional de Vías.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
IVA	Impuesto al Valor Agregado.
KPI	Indicador clave de desempeño (<i>Key Performance Indicator</i>).
NCR	Reporte de no conformidad de calidad.
NTC	Norma Técnica Colombiana, emitida por ICONTEC.
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030 de la ONU).
OE	Objetivo Específico del proyecto de tesis.
PMBOK	Cuerpo de conocimiento de gerencia de proyectos del <i>Project Management Institute</i> .
PRISMA	Protocolo internacional de reporte de revisiones sistemáticas.
PUJ	Pontificia Universidad Javeriana.
PV	Valor planeado al corte de seguimiento.
PWA	Aplicación web progresiva, con capacidad de operación sin conexión y sincronización posterior.
SECOP	Sistema Electrónico para la Contratación Pública.
SGC	Sistema de Gestión de Calidad.
SMART	Criterio de selección de indicadores: específico, medible, alcanzable, relevante y acotado en el tiempo.
SPI	Índice clásico de desempeño del cronograma: cociente entre valor ganado y valor planeado.
SPI(t)	Índice de desempeño del cronograma basado en cronograma ganado, robusto al sesgo final del cronograma.
SUS	Escala de usabilidad de un sistema (<i>System Usability Scale</i>).
SV	Variación clásica de cronograma: diferencia entre valor ganado y valor planeado.

Sigla	Significado
SV(t)	Variación de cronograma basada en cronograma ganado, expresada en unidades de tiempo.
TAM	Modelo de aceptación de tecnología de Davis.
TCPI	Índice de cumplimiento que mide la eficiencia de costo requerida en el trabajo restante.
VAC	Variación estimada del costo a la conclusión.

Índice general

Resumen	ii
Abstract	iii
Glosario y abreviaturas	iv
Introducción	1
1. Planteamiento y justificación del problema	3
1.1. Magnitud del problema	3
1.2. Causas documentadas	4
1.3. Brecha de soluciones existentes	5
1.4. Pregunta de investigación	6
1.5. Hipótesis de diseño	6
1.6. Justificación	7
1.7. Alcance metodológico del artefacto	8
1.8. Limitaciones declaradas	9
2. Marco teórico	10
2.1. Design Science Research como paradigma	10
2.2. Earned Value Management y extensiones	11
2.3. Inteligencia de negocio y tableros analíticos	11
2.4. Régimen contractual colombiano	12

2.5.	Calidad y norma técnica	13
2.6.	Herramientas de seguimiento contractual: estado del arte y brecha colombiana . . .	14
2.6.1.	Panorama de herramientas actuales	14
2.6.2.	Brecha en el contexto colombiano	17
2.6.3.	Diferenciadores del artefacto propuesto	18
2.6.4.	Síntesis del posicionamiento	19
2.7.	Síntesis e integración	19
3.	Objetivos de la solución	21
3.1.	Objetivo general	21
3.2.	Objetivos específicos	21
3.2.1.	OE1 — Modelo de datos para seguimiento	21
3.2.2.	OE2 — Indicadores clave y visualizaciones	22
3.2.3.	OE3 — Dashboard, alertas y validación	22
4.	Metodología	23
4.1.	Paradigma de investigación	23
4.2.	Mapeo a las seis actividades de Peffers	24
4.3.	Tipo de artefacto producido	24
4.4.	Diseño de la evaluación	25
4.4.1.	Protocolo de validación en seis fases	25
4.4.2.	Criterios de aceptación	27
4.5.	Validez	27
4.6.	Riesgos metodológicos	27
5.	Diseño y desarrollo	29

5.1.	Selección de indicadores con metodología SMART	29
5.1.1.	Aplicación del filtro al dominio	30
5.1.2.	Catálogo final de seis indicadores	30
5.1.3.	Demostración SMART en cuatro indicadores representativos	31
5.1.4.	Verificación SMART por indicador	32
5.1.5.	Indicadores informativos	32
5.2.	Modelo de calidad	32
5.2.1.	Marco metodológico	33
5.2.2.	Convenciones	33
5.2.3.	Catálogo de ensayos como ejemplo de configuración	34
5.2.4.	Plan de Calidad de Obra y su materialización	37
5.2.5.	Indicadores de calidad	37
5.2.6.	Relación entre la métrica %LC y la gestión de no conformidades	38
5.2.7.	Riesgos del componente de calidad	39
5.2.8.	Síntesis	40
5.3.	Modelo financiero contractual	40
5.3.1.	Estructura de costos del contrato	40
5.3.2.	Desagregación contable del AUI	41
5.3.3.	Macrocapítulos como agrupador opcional	42
5.3.4.	Módulo contable del aplicativo	43
5.3.5.	Articulación con el catálogo de indicadores	45
5.3.6.	Síntesis	45
5.4.	Catálogo de indicadores	46
5.4.1.	Convención de semáforos y trazabilidad	46

5.4.2.	Definición de los seis indicadores	47
5.4.3.	Tabla maestra del catálogo	49
5.4.4.	Definición de los umbrales del semáforo V/A/R	49
5.4.5.	Indicadores informativos no incorporados al semáforo	52
5.4.6.	Síntesis	53
5.5.	Decisión arquitectónica: plataforma comercial frente a solución a la medida	53
5.5.1.	Marco de la decisión	53
5.5.2.	Criterios derivados	54
5.5.3.	Caracterización de la plataforma comercial	55
5.5.4.	Matriz de decisión	55
5.5.5.	Síntesis de la decisión	56
5.5.6.	Limitaciones reconocidas	56
5.5.7.	Riesgos de la decisión	56
5.6.	Selección de la arquitectura tecnológica	57
5.6.1.	Tipo de cliente: aplicación web progresiva	57
5.6.2.	Componentes principales	57
5.6.3.	Justificación y limitación reconocida	59
5.6.4.	Caveats por sistema operativo móvil	59
5.6.5.	Riesgos de la arquitectura	60
5.6.6.	Síntesis de la selección	60
5.7.	Construcción del artefacto	61
5.7.1.	Anatomía modular	61
5.7.2.	Reprogramación del cronograma en actas modificatorias	64
5.7.3.	Flujo de datos	65

5.7.4.	Ciclo de vida operativo del contrato	67
5.7.5.	Arquitectura cliente-servidor	68
5.7.6.	Modelo de datos del aplicativo	70
5.7.7.	Estructura del proyecto y entregables	72
6.	Demostración con caso de estudio	73
6.1.	Identificación del caso	73
6.2.	Acceso al aplicativo	74
6.3.	Configuración administrativa de usuarios, roles y contratos	75
6.4.	Cargue inicial del contrato	75
6.5.	Revisión y aprobación del setup por el director	77
6.6.	Operación cotidiana del residente	78
6.7.	Cadenas de aprobación	80
6.8.	Operación del contador — módulo contable	82
6.9.	Supervisión y control de cambios contractuales	84
6.10.	Dashboard ejecutivo con los seis KPIs maestros	84
6.11.	Veredicto de los criterios de aceptación	85
6.12.	Síntesis	86
7.	Evaluación por encuesta	87
7.1.	Propósito y alcance	87
7.2.	Diseño del instrumento	88
7.2.1.	Cuestionario propio basado en escala de Likert	88
7.2.2.	Perfil de los participantes	89
7.3.	Protocolo de aplicación	90

7.4.	Resultados de la encuesta	90
7.4.1.	Puntaje por dimensión	90
7.4.2.	Observaciones cualitativas	91
7.5.	Discusión de los resultados	92
7.6.	Limitaciones de la evaluación	93
7.7.	Síntesis	94
8.	Conclusiones y recomendaciones	95
8.1.	Conclusiones	95
8.1.1.	Conclusión sobre el OE1 — Modelo de datos para seguimiento	95
8.1.2.	Conclusión sobre el OE2 — Indicadores clave y visualizaciones	95
8.1.3.	Conclusión sobre el OE3 — Dashboard, alertas y validación	96
8.1.4.	Conclusión sobre el éxito del proyecto: validación de la hipótesis de diseño	96
8.1.5.	Conclusión sobre el éxito del proyecto: viabilidad de adopción	97
8.2.	Recomendaciones	98
8.3.	Limitaciones y trabajo futuro	99
	Referencias	100
A.	Manual de usuario de Civil_BuildFlow	113
A.1.	Inicio rápido	113
A.1.1.	Cómo iniciar sesión	113
A.1.2.	Cómo cambiar entre proyectos	114
A.1.3.	Cómo cerrar sesión	114
A.1.4.	¿Y si no tengo proyecto asignado?	114
A.2.	Roles y cadena de mando	114

A.2.1.	¿Qué es un rol?	114
A.2.2.	Mapa de roles y módulos	114
A.2.3.	Tabla resumen de los siete roles	116
A.2.4.	Cadena de mando	117
A.2.5.	¿Qué pasa si rechazan mi documento?	118
A.3.	Ciclo de vida del contrato	118
A.3.1.	Fase 1: Setup (configuración inicial)	118
A.3.2.	Fase 2: Operativa	119
A.3.3.	Cierre del contrato	119
A.4.	Guía detallada por módulo	119
A.4.1.	Tablero ejecutivo (dashboard)	119
A.4.2.	Alertas	120
A.4.3.	Presupuesto	121
A.4.4.	Cronograma y avances	122
A.4.5.	Cobro (actas parciales)	122
A.4.6.	Cambios contractuales (actas modificatorias)	123
A.4.7.	Calidad	124
A.4.8.	Contabilidad	125
A.4.9.	Auditoría	127
A.4.10.	Administración (solo administrador)	128
A.5.	Preguntas frecuentes	129

Índice de tablas

4.1. Mapeo de las seis actividades DSR al proyecto	24
5.1. Verificación SMART del catálogo	32
5.2. Catálogo ilustrativo de ensayos para concretos	35
5.3. Entidades del módulo contable	44
5.4. Catálogo de KPIs maestros del aplicativo	50
5.5. Umbrales por defecto sembrados al crear el contrato	52
5.6. Matriz de decisión plataforma comercial frente a aplicación a la medida	55
7.1. Distribución de respondientes por años de experiencia	89
7.2. Promedio por dimensión de la encuesta	91
A.1. Roles del aplicativo y responsabilidades principales.	116
A.2. Indicadores presentados en el tablero ejecutivo.	120

Índice de figuras

5.1. Flujo de datos del aplicativo	66
5.2. Ciclo de vida operativo del contrato	68
5.3. Arquitectura técnica de Civil_BuildFlow	69
5.4. Modelo de datos del aplicativo	71
6.1. Pantalla de inicio de sesión	74
6.2. Interfaz sin proyecto asignado	74
6.3. Panel administrativo de usuarios, roles y contratos	75
6.4. Cargue inicial del contrato por el residente	76
6.5. Cargue del presupuesto desglosado	76
6.6. Verificación del cronograma cargado	77
6.7. Aprobación del setup inicial por el director de obra	77
6.8. Registro de avance y diagrama de Gantt	78
6.9. Generación automática de actas parciales	78
6.10. Ingreso de actas modificatorias	79
6.11. Cargue masivo de cambios al acta	79
6.12. Registro de ensayos de calidad	80
6.13. Panel de aprobación de actas de cobro	80
6.14. Cadena de aprobación del acta modificatoria	81
6.15. Registro del anticipo	82
6.16. Registro de pagos de actas suscritas	82
6.17. Módulo de flujo de caja	83

6.18. Catálogo de terceros del contrato	83
6.19. Panel de supervisión y control de cambios	84
6.20. Dashboard ejecutivo con los seis KPIs	84
6.21. Curva S del dashboard ejecutivo	85
 A.1. Mapa de roles y módulos del aplicativo. Las flechas gruesas indican responsabilidad operativa primaria; las delgadas, capacidad de operar; las punteadas, acceso de solo consulta.	 115
A.2. Las tres cadenas de aprobación del aplicativo: setup inicial del contrato, actas modificatorias y actas de cobro parciales. En las tres, cualquier devolución (rechazo con motivo) regresa el documento al estado de edición para que el responsable corrija y vuelva a enviar.	117

Introducción

La contratación de obra pública en Colombia es una pieza estructural del desarrollo de infraestructura del país y, simultáneamente, uno de los procesos administrativos con mayor exigencia de trazabilidad documental y control fiscal. El régimen contractual —articulado por la Ley 80 de 1993, la Ley 1150 de 2007 y el Decreto 1082 de 2015— exige que cada modificación, certificación y pago del contrato quede documentado y sea reconstruible *ex post* por la interventoría, la entidad contratante y los órganos de control. La normativa técnica aplicable —especificaciones del Instituto Nacional de Vías, normas técnicas colombianas, NSR-10, ISO 9001— añade un componente de control de calidad por material, lote y capítulo de obra que el residente y el interventor administran al corte de seguimiento.

Pese a esta arquitectura institucional, el seguimiento operativo cotidiano de una obra pública activa en Colombia sigue dependiendo de archivos fragmentados —hojas de cálculo paralelas por actor, reportes en formatos heterogéneos, correos y mensajes informales— que no se actualizan al ritmo del corte. La consecuencia operativa es la detección tardía de desviaciones de costo, plazo y calidad: cuando un indicador relevante cruza un umbral significativo, los actores del contrato suelen enterarse semanas o meses después, sin posibilidad inmediata de actuar mientras la obra sigue siendo modificable. La información existe en el contrato y en sus soportes, pero no está organizada para soportar la decisión gerencial en el momento en el que esta debe tomarse.

El presente trabajo de grado parte de este diagnóstico y se pregunta cómo diseñar un tablero interactivo de inteligencia de negocio que integre, de manera trazable, los datos de presupuesto, programación, avances físicos y financieros, calidad y cambios contractuales, para generar indicadores oportunos y alertas accionables que apoyen la toma de decisiones durante el segui-

miento de un contrato de obra pública. El alcance del trabajo se enmarca en el paradigma de investigación *Design Science Research*, que articula la actividad de diseñar un artefacto, demostrar su funcionamiento sobre un caso real y evaluar su utilidad frente a la experiencia de expertos.

El artefacto producido es el aplicativo Civil_BuildFlow, una plataforma web multiusuario con captura de información por rol contractual, cálculo automático de un catálogo acotado de seis indicadores maestros con trazabilidad fórmula-norma documentada, motor de alertas con umbrales configurables por contrato y vistas ejecutivas y operativas diferenciadas. La validación se ejecuta en dos niveles complementarios: una prueba funcional del cargue y la operación del aplicativo sobre un caso de estudio real del sector de agua potable y saneamiento básico, y una evaluación perceptual mediante encuesta a profesionales del sector con experiencia directiva en contratación de obra pública.

El documento se organiza en ocho capítulos. El [capítulo 1](#) caracteriza el problema, fija la pregunta de investigación y enuncia la hipótesis de diseño. El [capítulo 2](#) articula el marco teórico y el estado del arte de las herramientas disponibles para el seguimiento contractual de obra. El [capítulo 3](#) declara el objetivo general y los tres objetivos específicos del trabajo. El [capítulo 4](#) documenta la metodología *Design Science Research* aplicada al proyecto. El [capítulo 5](#) desarrolla el diseño del artefacto: la selección de indicadores bajo metodología SMART, los modelos de calidad y financiero, la decisión arquitectónica frente a alternativas comerciales, la selección de la pila tecnológica y la construcción modular del aplicativo. El [capítulo 6](#) presenta el caso de estudio real con el aplicativo en operación. El [capítulo 7](#) expone los resultados de la encuesta a profesionales del sector. El [capítulo 8](#) cierra con conclusiones por objetivo, recomendaciones y trabajo futuro.

Capítulo 1

Planteamiento y justificación del problema

1.1 Magnitud del problema

El seguimiento contractual de obra pública en América Latina opera sobre una infraestructura administrativa amplia y, sin embargo, pierde sistemáticamente eficiencia. Cavallo, Powell y Se-rebrisky (2020) reportan que los sobrecostos promedian el 48 % del costo total —frente al 28 % global— y consumen, junto con los retrasos, cerca del 35 % de la inversión pública regional. La diferencia de veinte puntos porcentuales sitúa al fenómeno como un problema estructural y no episódico.

En Colombia el reconocimiento alcanzó rango legislativo: la Ley 2020 de 2020 (Congreso de la República de Colombia, 2020) creó el Registro Nacional de Obras Civiles Inconclusas, administrado por la Contraloría General de la República (Contraloría General de la República, 2024), y el diagnóstico sectorial de la Cámara Colombiana de la Infraestructura (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2024) confirma la lectura agregada. El Sistema Electrónico para la Contratación Pública (Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente, 2024c) y las plataformas del Departamento Nacional de Planeación (Departamento Nacional de Planeación, 2024, 2025) concentran información contractual a nivel agregado, mientras que el régimen contractual —Ley 80 de 1993, Ley 1150 de 2007 y Decreto 1082 de 2015— exige trazabilidad documental de cada modificación (Congreso de la República de Colombia, 1993, 2007; Presidencia de la República de Colombia, 2015).

Pese a esta arquitectura institucional, el seguimiento operativo de una obra activa sigue dependiendo de archivos fragmentados y reportes *ad hoc* que no se actualizan al ritmo del corte.

La fragmentación de la información en construcción es un problema documentado y persistente (Huang et al., 2021; Serebrisky et al., 2018): la información existe, pero no está organizada para la decisión. Cuando un indicador de costo o de tiempo cruza un umbral relevante, los actores del contrato se enteran tarde y sin posibilidad inmediata de verificar consistencia con la línea base.

1.2 Causas documentadas

La literatura caracteriza el fenómeno en cuatro categorías analíticas. Las causas financieras documentan el patrón macro: los megaproyectos exceden recurrentemente presupuesto y plazo y rinden por debajo de lo prometido (Cantarelli et al., 2010; Flyvbjerg, 2014; Flyvbjerg, Holm & Buhl, 2002), y nueve de cada diez proyectos experimentan algún grado de sobrecosto (Aljohani, Ahiaga-Dagbui & Moore, 2017). Las causas operativas son la acumulación de fricciones cotidianas —planeación deficiente, cambios de diseño, suministros irregulares, subcontratistas con bajo desempeño— todas detectables al corte de seguimiento si el sistema de información lo permite (Olawale & Sun, 2010; Sambasivan & Soon, 2007). Las causas informacionales sitúan la fragmentación de fuentes como condición que impide convertir las causas anteriores en señales accionables (Huang et al., 2021). Y la productividad sectorial se ha mantenido estancada a escala global con un valor anual potencialmente recuperable cuantificado (McKinsey Global Institute, 2017), con el retrabajo como canal mediador entre las categorías anteriores (Hwang, Zhao & Goh, 2014; Love et al., 2018).

El diagnóstico colombiano (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2024) es consistente con esta caracterización. El problema no requiere descubrir causas nuevas: requiere instrumentación de seguimiento que detecte las causas conocidas mientras la obra sigue siendo modificable.

1.3 Brecha de soluciones existentes

La industria dispone de herramientas tecnológicas relevantes —integraciones del modelado de información de la construcción con la inteligencia de negocio (Rodrigues, Alves & Matos, 2022; Sacks et al., 2018), aplicaciones regionales del marco *Earned Value Management* (Proaño-Narváez et al., 2022) y factores críticos de éxito de la inteligencia de negocio en organizaciones complejas (Yeoh & Popovič, 2016)— pero la integración de fuentes heterogéneas y la trazabilidad de cada indicador a su fórmula y a su fuente normativa siguen siendo desafíos abiertos del campo (Huang et al., 2021).

En Colombia coexisten dos respuestas operativas. Las plataformas oficiales reportan los procesos contractuales y la ejecución agregada, pero su unidad de análisis es el proyecto agregado, no el corte operativo de una obra activa. Los tableros contruidos en herramientas comerciales, alimentados por archivos de hoja de cálculo mantenidos por cada actor, resuelven parcialmente la visualización pero heredan la fragmentación de las fuentes y rara vez documentan la trazabilidad fórmula-norma de los indicadores.

Zuleta-Castellano et al. (2023) documentan la brecha académica colombiana en revisión sistemática sobre doscientos setenta y siete artículos publicados entre 2019 y 2023: Colombia presenta una brecha frente a otros países en investigación sobre gestión del desempeño en proyectos de construcción. La oportunidad consiste en un artefacto que integre operativamente los componentes del seguimiento contractual —presupuesto, programación, avances físicos y financieros, riesgos y cambios— articulando la normativa colombiana (Congreso de la República de Colombia, 1993, 2007; Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022a; Presidencia de la República de Colombia, 2015) con los estándares internacionales (International Organization for Standardization, 2015, 2020, 2021; Project Management Institute, 2021). El diferenciador es la trazabilidad fórmula-norma del catálogo de indicadores.

1.4 Pregunta de investigación

¿Cómo diseñar y evaluar un tablero interactivo que integre de manera trazable los datos de presupuesto, programación, avances, riesgos y cambios contractuales, para generar indicadores oportunos, accionables y predictivos que fortalezcan la toma de decisiones durante el seguimiento de contratos de obra pública?

La pregunta es congruente con el paradigma *Design Science Research* descrito por Hevner et al. (2004), Peffers et al. (2007) y Gregor y Hevner (2013): pide diseñar un artefacto, demostrar su funcionamiento y evaluar su utilidad frente a la experiencia de expertos del dominio.

1.5 Hipótesis de diseño

H1. Un tablero interactivo de inteligencia de negocio para el seguimiento contractual de obra pública en Colombia, que (i) implemente vistas ejecutiva y operativa diferenciadas por rol contractual, (ii) calcule un conjunto acotado de indicadores con trazabilidad fórmula-norma documentada, (iii) dispare alertas tempranas a partir de umbrales contractuales y normativos configurables, y (iv) opere con captura sin conexión y sincronización posterior, **permite** a los actores del contrato disponer de decisiones de seguimiento más oportunas, consistentes y trazables que el conjunto de herramientas que hoy ocupan ese espacio funcional —hojas de cálculo paralelas, Microsoft Project y correo electrónico institucional—, caracterizado en el estado del arte de la [sección 2.6](#). La hipótesis evalúa la *funcionalidad* del artefacto y su *utilidad percibida*; la cuantificación del impacto efectivo sobre la práctica del seguimiento contractual exigiría implementación institucional y medición longitudinal, que exceden el alcance del trabajo y se enuncian como agenda en el [capítulo 8](#).

Variables observables. La hipótesis se descompone en seis variables ligadas a la validación técnica y a la evaluación funcional del [capítulo 4](#): (1) prueba funcional del cargue y la operación del aplicativo sobre el caso de estudio (criterio CA1); (2) cobertura funcional de los movimientos contractuales del caso de estudio; (3) trazabilidad fórmula-norma del catálogo (criterio CA2); (4) reducción percibida del tiempo de análisis y de la dispersión de información al usar el aplicativo en lugar de hojas de cálculo dispersas; (5) claridad de interpretación y facilidad de lectura ejecutiva, medidas con instrumento basado en la *System Usability Scale* y el *Technology Acceptance Model*; (6) apoyo percibido a la toma de decisiones por rol contractual. Las tres primeras corresponden a validación técnica; las tres siguientes a evaluación funcional. La hipótesis se considera respaldada cuando las seis variables superan los umbrales declarados.

1.6 Justificación

La justificación del trabajo articula tres planos. En el plano social, la propuesta se alinea con cuatro Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 (United Nations Development Programme, [2024](#); United Nations General Assembly, [2015](#)): ODS 9 sobre industria e infraestructura —por la innovación de gestión sobre activo crítico colombiano—; ODS 11 sobre ciudades sostenibles —el seguimiento oportuno disminuye la incidencia de obras inconclusas (Congreso de la República de Colombia, [2020](#); Contraloría General de la República, [2024](#))—; ODS 12 sobre producción responsable —la trazabilidad del catálogo busca reducir el retrabajo (Love et al., [2018](#))—; y ODS 16 sobre instituciones sólidas, donde la trazabilidad documental exigida por la Ley 80 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, [1993](#)) se articula con el control fiscal de la Contraloría y la función preventiva de la Procuraduría (Procuraduría General de la Nación, [2024](#)).

En el plano académico, la justificación descansa en Zuleta-Castellano et al. ([2023](#)), revi-

sión sistemática colombiana que documenta la brecha investigativa del país en gestión del desempeño en proyectos de construcción. El presente trabajo cierra parcialmente esa brecha al producir un artefacto orientado al artefacto (Gregor & Hevner, 2013; Hevner et al., 2004; Peffers et al., 2007) diseñado para el régimen colombiano de obra pública, articulado con la normativa vigente (Congreso de la República de Colombia, 1993, 2007; Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022a; Presidencia de la República de Colombia, 2015) y los estándares internacionales de gerencia de proyectos y calidad (Fleming & Koppelman, 2010; International Organization for Standardization, 2015; Project Management Institute, 2021).

En el plano práctico, el aplicativo se configura como modelo multiusuario con permisos diferenciados por rol: el director y el contratante operan la vista ejecutiva para decisiones sobre desempeño consolidado y modificaciones contractuales; el residente, el interventor, el contratista y el contador operan vistas operativas con detalle por capítulo, filtros y navegación a la fuente, atendiendo respectivamente al levantamiento de avances, la aprobación de actas con respaldo trazable, el seguimiento de cartera y la digitación tributaria; y el administrador opera el panel de configuración. Ningún rol ejecuta la totalidad de los procesos del aplicativo, lo que materializa la separación de funciones que exige el régimen de contratación pública.

1.7 Alcance metodológico del artefacto

El trabajo contempla el ciclo completo de construcción y validación del artefacto dentro del paradigma *Design Science Research*: especificación del catálogo y de los módulos, programación de la interfaz cliente, el servidor y la base de datos, automatización del cálculo de indicadores y de la generación de actas parciales, prueba funcional del aplicativo sobre el caso de estudio y evaluación funcional por encuesta a profesionales del sector. El aplicativo es un entregable real del trabajo de grado.

El alcance no incluye implementación organizacional, despliegue institucional en producción, procesos de adopción contractual con un cliente formal ni operación sostenida del sistema dentro de una entidad beneficiaria. Estas actividades exceden el horizonte de una Maestría aplicada y se enuncian como agenda de trabajo futuro.

La verificación se ejecuta en dos niveles complementarios. La validación técnica verifica que el aplicativo cargue el caso de estudio sin errores, calcule los seis indicadores con valores plausibles, genere las actas parciales automáticas y dispare las alertas según los umbrales configurados por contrato. La evaluación funcional aplica un cuestionario a profesionales del sector —interventores, supervisores, directores, contratistas y contadores de obra— basado en la *System Usability Scale* y el *Technology Acceptance Model* adaptados al dominio.

1.8 Limitaciones declaradas

La formulación asume cinco limitaciones que se mitigan a lo largo del documento. La primera es la validez externa: un único caso de estudio limita la generalización a otros tipos de obra y a otros regímenes contractuales; se mitiga seleccionando un caso real que cubra los movimientos contractuales más frecuentes. La segunda es la confidencialidad del caso, que se mitiga omitiendo la identificación de la entidad contratante y del contratista. La tercera es el alcance funcional de la demostración: la prueba verifica que el aplicativo opere correctamente sobre el caso, no establece evaluación estadística de impacto sobre la práctica del seguimiento contractual. La cuarta es la idoneidad del paradigma *Design Science Research* para una Maestría aplicada, mitigada con justificación explícita en el [capítulo 4](#). La quinta son los cambios normativos durante la ejecución del trabajo, mitigados con catálogos configurables del aplicativo.

Capítulo 2

Marco teórico

El marco teórico articula cinco bloques que sostienen el resto del documento: el paradigma *Design Science Research*, el marco *Earned Value Management*, la literatura sobre inteligencia de negocio y tableros analíticos, el régimen contractual colombiano y la familia de normas de calidad. La síntesis evita reproducir los riesgos del problema, el detalle metodológico de las actividades del paradigma o el catálogo de requisitos modulares, que se desarrollan en sus capítulos respectivos.

2.1 Design Science Research como paradigma

Hevner et al. (2004) formalizan el paradigma en sistemas de información articulando dos ciclos complementarios —ciencia del comportamiento y ciencia del diseño— y proponiendo siete lineamientos para conducir investigación de tipo artefactual con rigor metodológico equivalente al de la investigación inferencial. Peffers et al. (2007) operacionalizan el paradigma en seis actividades secuenciales: identificación del problema, definición de objetivos, diseño y desarrollo, demostración, evaluación y comunicación. Gregor y Hevner (2013) refinan la taxonomía de artefactos en cuatro tipos —constructos, modelos, métodos e instanciaciones— y posicionan las contribuciones en cuatro cuadrantes: mejora, exaptación, invención y diseño rutinario.

El paradigma es adecuado para la pregunta del trabajo por tres razones. Primero, el objeto es informacional y artefactual: diseñar un tablero, no estimar un parámetro poblacional. Segundo, la pregunta exige comparar el artefacto contra un patrón de evaluación, no realizar inferencia estadística; Gregor y Hevner (2013) enumeran la validación descriptiva contra una referencia

manual entre los métodos admisibles. Tercero, el alcance de la Maestría descarta diseños alternativos que exigirían condiciones de ejecución incompatibles. La sección del [capítulo 4](#) desarrolla la justificación operativamente.

2.2 Earned Value Management y extensiones

El marco *Earned Value Management* es la metodología industrial de medición integrada del desempeño en costo y cronograma. Project Management Institute ([2021](#)) articula su formulación canónica a partir de tres magnitudes base —valor planeado, valor ganado y costo real al corte— y un conjunto de índices y estimaciones derivados. Fleming y Koppelman ([2010](#)) es el tratado canónico de la metodología con ejemplos numéricos completos. Anbari ([2003](#)) enumera las extensiones admisibles a las fórmulas de estimación a la finalización.

El marco clásico exhibe un sesgo conocido al final del proyecto: los indicadores clásicos de cronograma pierden poder discriminante porque sus varianzas convergen aunque el proyecto cierre atrasado. Lipke ([2003](#)) propone la formulación de cronograma ganado, que traslada el cálculo al eje del tiempo y corrige el sesgo. El catálogo del aplicativo adopta el índice de cronograma basado en cronograma ganado como semáforo operacional. De Marco y Narbaev ([2013](#)) documenta que el índice de desempeño en costos exhibe estabilidad predictiva desde el veinte por ciento de avance, lo que justifica que el módulo de alertas dispare señales tempranas. Proaño-Narváez et al. ([2022](#)) provee un antecedente regional de aplicación del marco en obra activa. Aramali et al. ([2023](#)) muestra que la madurez del sistema de medición reduce de manera significativa los sobrecostos y las órdenes de cambio.

2.3 Inteligencia de negocio y tableros analíticos

La literatura aporta tres bloques teóricos al diseño del artefacto. Yigitbasioglu y Velcu ([2012](#)), en revisión sistemática del campo, establece que la calidad del cargue de datos determina la calidad

del tablero, que el ajuste rol a vista es crítico y que la interactividad debe articularse con semáforos y alertas para producir accionabilidad. Few (2006) y Few (2013) formalizan los principios de percepción visual aplicables a tableros y catalogan las equivocaciones recurrentes —uso ornamental de gráficos tridimensionales, escalas inconsistentes, codificación cromática contradictoria, densidad excesiva en una sola pantalla—. Eckerson (2010) aporta el modelo de monitorear, analizar y profundizar y la tipología operativo, táctico y estratégico. Yeoh y Popovič (2016) sintetiza los factores críticos de éxito para implementar sistemas de inteligencia de negocio en organizaciones complejas.

Rodrigues, Alves y Matos (2022) muestra una integración explícita del modelado de información de la construcción con una herramienta de inteligencia de negocio en gestión de obra. Huang et al. (2021) caracteriza el estado del arte de la gestión de proyectos basada en datos y enumera los desafíos abiertos del campo, entre ellos la integración de fuentes heterogéneas y la trazabilidad fórmula-norma. Einizinab et al. (2023) documenta la inspección remota de obra como campo activo.

2.4 Régimen contractual colombiano

El régimen contractual colombiano configura el marco normativo vinculante. La Ley 80 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993) es la columna vertebral del régimen y fija los principios rectores: transparencia, economía, responsabilidad, selección objetiva y deber de planeación. La Ley 80 introduce el régimen del anticipo en su artículo 40, que el módulo de cobro materializa con la mecánica de amortización. La Ley 1150 de 2007 (Congreso de la República de Colombia, 2007) introduce medidas de transparencia, modifica modalidades de selección y articula el procedimiento de modificación contractual. El Decreto 1082 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015) compila la reglamentación de las dos leyes y contiene los artículos

operables por el aplicativo.

La doctrina de la Agencia Nacional de Contratación Pública complementa la regulación. Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente (2024a) afirma que ni el sistema de precios unitarios ni la metodología de cálculo del porcentaje de Administración, Imprevistos y Utilidad están regulados por ley, lo que legitima la decisión de modelar el AUI como porcentaje adicional sobre el costo directo y no como una partición de bolsas autónomas. Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente (2024b) distingue jurídicamente anticipo de pago anticipado, distinción que el modelo de datos preserva. Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente (2018) soporta la práctica oficial de las actas de cobro.

La capa técnica vial la provee el Instituto Nacional de Vías. Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) (2022a) fija los parámetros técnicos vinculantes por sección de obra, y Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) (2022b) establece la metodología y los formatos para el seguimiento. La capa de control fiscal la articulan Contraloría General de la República (2018) y Contraloría General de la República (2024) con el Registro Nacional creado por la Ley 2020 de 2020 (Congreso de la República de Colombia, 2020). El régimen tributario es contexto contable que el contador digita acta por acta en el módulo contable, conforme a la normativa vigente al momento de causación; el aplicativo no automatiza el cálculo tributario por la heterogeneidad y mutabilidad del régimen.

2.5 Calidad y norma técnica

El marco de calidad se estructura en tres capas. La capa internacional la configura la norma ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization, 2015), cuya adopción colombiana es la NTC ISO 9001:2015 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC),

2015). International Organization for Standardization (2021) fija el marco general de proyectos y International Organization for Standardization (2020) sistematiza la gestión de calidad como subproceso integrado al ciclo de gerencia. Rumane (2017) es el texto canónico de gestión de calidad en proyectos de construcción y articula los componentes operativos del Plan de Calidad de Obra. Islam et al. (2021) clasifica las no conformidades y ofrece taxonomía de causas raíz que el aplicativo materializa en el ciclo de reportes de no conformidad.

La literatura sobre retrabajo cuantifica la magnitud económica de las no conformidades no detectadas oportunamente. Love et al. (2018) cuantifica el costo del retrabajo en estudio longitudinal. Hwang, Zhao y Goh (2014) reporta porcentajes de empresas y proyectos afectados por retrabajo. Aslam, Baffoe-Twum y Saleem (2019) analiza causas e impacto de los cambios de diseño sobre el costo.

2.6 Herramientas de seguimiento contractual: estado del arte y brecha colombiana

La pregunta de investigación del trabajo se enmarca en un ecosistema de herramientas digitales que coexisten con la práctica predominante de hojas de cálculo y formatos ofimáticos en el sector colombiano de obra pública. Esta sección sintetiza las categorías de herramientas disponibles, identifica la brecha funcional y normativa frente al régimen contractual colombiano y posiciona el artefacto propuesto en términos de diferenciación.

2.6.1 Panorama de herramientas actuales

Sistemas ERP y plataformas corporativas de gestión de proyectos. Las suites de planificación empresarial de mayor adopción global —SAP S/4HANA, Oracle Primavera P6, Oracle Aconex— cubren los procesos transversales de finanzas, abastecimiento, recursos humanos y programación de actividades en arquitecturas de clase mundial (Oracle Corporation, 2024a, 2024b; SAP SE, 2024). La literatura académica reconoce su rol estructurante pero documenta también

que la implantación es costosa, requiere consultoría especializada y se orienta a corporaciones multi-proyecto antes que a contratos individuales (Huang et al., [2021](#); McKinsey Global Institute, [2017](#)). La limitación de fondo frente al objeto del presente trabajo no es de funcionalidad transaccional —estos productos son capaces de registrar prácticamente cualquier movimiento contable o de proyecto— sino de *nicho y modelo operativo*: son ERPs corporativos diseñados para la organización constructora como sujeto de control, no para el contrato de obra pública como unidad de seguimiento. No incorporan de manera nativa la lógica de actores externos al contratista que el régimen colombiano impone (interventor, contratante, supervisor), no implementan cadenas de aprobación entre roles contractuales heterogéneos para certificar avances y actas, y la adaptación a la realidad operativa de cada contrato —umbrales por contrato, plantillas de carga por tipo de obra, captura sin conexión en el frente— exige consultoría que diluye la promesa de paquete cerrado.

Plataformas de gestión de construcción nativas en la nube. Procore y Autodesk Construction Cloud constituyen el segmento de plataformas verticales orientadas a empresas constructoras de mediana y gran escala (Autodesk, [2024](#); Procore Technologies, [2024](#)). Su propuesta de valor articula gestión documental, control de campo, seguimiento de planos y coordinación de actores en flujos diseñados a partir de la práctica anglosajona y europea. La integración con modelado de información de la construcción es una fortaleza documentada (Rodrigues, Alves & Matos, [2022](#); Sacks et al., [2018](#)). Sin embargo, su modelo de licenciamiento por usuario o por volumen de proyecto, sumado a la curva de adopción de sus interfaces, limita su penetración en pequeñas y medianas empresas constructoras colombianas (Cámara Colombiana de la Infraestructura, [2024](#)). Más allá del costo, el ajuste de estas plataformas al régimen colombiano de obra pública requiere parametrización extensa porque su modelo de actores está construido sobre figuras estandarizadas internacionalmente (general contractor, subcontractor, owner) que no corresponden

directamente a la tipología contractual colombiana (entidad contratante, interventoría, contratista, director de obra, residente, contratista de obra) ni a las cadenas de aprobación que la Ley 80 de 1993, la Ley 1150 de 2007 y el Decreto 1082 de 2015 (Congreso de la República de Colombia, 1993, 2007; Presidencia de la República de Colombia, 2015) regulan para certificaciones, actas modificatorias y reportes a la entidad contratante.

Plataformas de inteligencia de negocio genéricas. Microsoft Power BI y Tableau son las herramientas dominantes para construir tableros analíticos sobre fuentes heterogéneas (Microsoft Corporation, 2024; Salesforce, 2024). Rodrigues, Alves y Matos (2022) documenta su integración con modelado de información y Yeoh y Popovič (2016) sistematiza los factores críticos de éxito al implementarlas en organizaciones complejas. Estas plataformas son visualizadores poderosos pero no son sistemas transaccionales: no proveen captura primaria diferenciada por rol contractual, no implementan flujos de aprobación entre residente, interventor y contratante, y delegan la disciplina del modelo de datos en quien construye el cubo. En la práctica colombiana operan como capa superior sobre Excel, sin resolver la fragmentación de la fuente.

Práctica predominante en Colombia. El sustrato real sobre el que se levantan los reportes de seguimiento físico-financiero en la mayoría de contratos de obra pública colombianos sigue siendo la combinación de Microsoft Excel, Microsoft Project y correo electrónico institucional. La Cámara Colombiana de la Infraestructura (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2024) y los informes de la Contraloría General de la República (Contraloría General de la República, 2018, 2024) documentan deficiencias recurrentes en el control físico-financiero asociadas a la dispersión de información, la ausencia de trazabilidad de los cambios y la baja estandarización de los formatos.

2.6.2 Brecha en el contexto colombiano

El análisis comparado revela una brecha que es, antes que funcional, de *enfoque y nicho*. Los ERPs y las plataformas internacionales de gestión de construcción son sistemas transaccionales maduros que cubren con solvencia el control corporativo de proyectos, pero su modelo operativo está pensado para la organización constructora como unidad de control, no para el contrato de obra pública como unidad de seguimiento contractual con múltiples roles externos al contratista (interventoría, contratante, supervisor) que deben validar avances, aprobar actas y consultar trazabilidad. Esa orientación al nicho corporativo se traduce en flujos de aprobación rígidos, en una capacidad limitada para adaptarse a la realidad operativa de cada contrato —catálogos de ensayos por tipo de obra, umbrales por perfil de contrato, plantillas de cargue específicas— y en un costo de adopción alto para pequeñas y medianas empresas constructoras (Cámara Colombiana de la Infraestructura, [2024](#)).

Las plataformas de inteligencia de negocio genéricas exhiben la limitación contraria: son flexibles y económicas pero no son transaccionales; cuando la captura primaria sigue ocurriendo en hojas de cálculo paralelas sin disciplina de roles, el tablero hereda la fragmentación de la fuente, y Huang et al. ([2021](#)) enumera entre los desafíos abiertos del campo la integración de fuentes heterogéneas y la trazabilidad fórmula-norma. La práctica colombiana basada en ofimática resuelve la flexibilidad y el costo, pero a expensas de la trazabilidad documental que exige el control fiscal posterior (Contraloría General de la República, [2018](#)) y el régimen de supervisión e interventoría reglamentado por la Agencia Nacional de Contratación Pública (Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente, [2018](#)).

2.6.3 *Diferenciadores del artefacto propuesto*

El artefacto Civil_BuildFlow se posiciona en el cuadrante de *exaptación* en la taxonomía de Gregor y Hevner (2013): aplica primitivas conocidas —aplicación web progresiva, base de datos relacional con historial inalterable, cálculo canónico de valor ganado— a un dominio donde no han sido instanciadas de manera integrada bajo el régimen colombiano. Seis diferenciadores estructuran el valor agregado frente a las alternativas.

(i) Diseño para el nicho de obra pública colombiana: el modelo de actores, los flujos de aprobación, los catálogos por defecto y la documentación se construyen para el contrato como unidad de seguimiento bajo el régimen colombiano (Congreso de la República de Colombia, 1993, 2007; Presidencia de la República de Colombia, 2015), no como adaptación de un producto corporativo internacional. **(ii) Control y aprobación por rol contractual:** la arquitectura de siete roles —director, interventor, residente, contratante, contratista, contador y administrador— replica la estructura de actores del contrato de obra pública colombiano y materializa cadenas de aprobación explícitas (residente → director → interventor → contratante) para certificaciones, actas de cobro y actas modificatorias, conforme al régimen de supervisión e interventoría (Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente, 2018). **(iii) Trazabilidad fórmula-norma del catálogo:** cada uno de los seis indicadores enlaza a una referencia citable que articula la formulación canónica de valor ganado (Fleming & Koppelman, 2010; Project Management Institute, 2021) y la extensión de cronograma ganado (Lipke, 2003), propiedad estructural del modelo de datos y no función opcional; Huang et al. (2021) señala esta trazabilidad como brecha abierta del campo que los productos comerciales no documentan explícitamente. **(iv) Facilidad de adaptación a la realidad operativa del contrato:** el catálogo de ensayos es extensible por el usuario sin recompilación, los umbrales de alerta son configurables por contrato, las plantillas de carga admiten variaciones de formato sin desarrollo y la jerarquía presupuestal

se acomoda a contratos planos o con macrocapítulos según la complejidad de la obra. **(v) Operación con conectividad intermitente:** la arquitectura de aplicación web progresiva permite la captura primaria en frentes de obra sin conectividad estable y la sincronización diferida con verificación criptográfica, enfoque respaldado por la literatura sobre inspección remota (Einizina et al., 2023); las plataformas internacionales orientadas a corporación asumen conectividad permanente. **(vi) Modelo de costos y auditabilidad estructural:** el artefacto se distribuye sin licenciamiento recurrente por usuario, accesible a PYMEs constructoras (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2024); el historial inalterable de eventos provee la trazabilidad que demandan el control fiscal posterior (Contraloría General de la República, 2018) y la Ley 1474 de 2011 (Congreso de la República de Colombia, 2011) como propiedad estructural del modelo y no como función opcional.

2.6.4 Síntesis del posicionamiento

El artefacto propuesto no compite con los ERPs ni con las plataformas internacionales en el universo de la corporación multinacional ni del megaproyecto privado, donde la capacidad de inversión justifica la implantación de productos cerrados; tampoco reemplaza al Sistema Electrónico para la Contratación Pública ni a los sistemas contables certificados, sistemas con perímetro y propósito distintos. La propuesta se posiciona en el espacio funcional ocupado hoy por Excel, Microsoft Project y correo electrónico, donde la fragmentación informativa coexiste con la disponibilidad de información primaria y donde la consolidación, el cálculo canónico y la visualización con trazabilidad normativa proveen un retorno marginal alto a costo de adopción bajo.

2.7 Síntesis e integración

Los cinco bloques convergen en el diseño del artefacto. El paradigma *Design Science Research* provee la epistemología y se materializa en el capítulo 4. El marco de valor ganado y sus exten-

siones proveen la formulación canónica del catálogo de indicadores de la [sección 5.4](#). La literatura de inteligencia de negocio aporta los principios que orientan el módulo de tablero ejecutivo y la decisión arquitectónica de la [sección 5.5](#). El régimen contractual colombiano provee el marco normativo vinculante que la [sección 5.3](#) y la [sección 5.2](#) desarrollan operativamente. El estado del arte de herramientas ([sección 2.6](#)) posiciona el artefacto frente a las alternativas existentes.

Capítulo 3

Objetivos de la solución

Este capítulo enuncia el objetivo general y los tres objetivos específicos del trabajo, que articulan la actividad~2 del paradigma *Design Science Research* de Peffers et al. (2007). La operacionalización detallada de cada objetivo —entregables, módulos del artefacto y criterios de verificación— se desarrolla en el capítulo 5 para el diseño y en los capítulos 6 and 7 para la validación.

3.1 Objetivo general

Diseñar y validar un dashboard interactivo basado en el modelo de Business Intelligence que integre datos de costo, tiempo y avance, para el seguimiento de un contrato de obra pública, mediante indicadores y alertas que apoyen la toma de decisiones.

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 OE1 — Modelo de datos para seguimiento

OE1. Definir el modelo de datos para seguimiento (presupuesto, avances físicos y financieros, cronograma, cambios y riesgos).

OE1 establece el sustrato del trabajo: una estructura única capaz de absorber la información heterogénea del seguimiento contractual —presupuesto, avances, cronograma, modificaciones y registros de control—, normalizada en escritura y con vistas materializadas para consulta. Su entregable es el modelo de datos del aplicativo con sus plantillas de carga, desarrollado en la sección 5.7 del capítulo 5.

3.2.2 OE2 — Indicadores clave y visualizaciones

OE2. Proponer indicadores clave de desempeño (costo, tiempo, valor ganado, cambios, calidad/seguridad) y visualizaciones asociadas (Curva S, semáforos y tendencias).

OE2 produce, a partir del modelo de datos del OE1, un catálogo de indicadores con fórmula, unidad, fuente normativa o académica y umbrales verde, amarillo y rojo configurables por contrato. Las visualizaciones son la Curva S de avance acumulado, los semáforos por indicador y las series de tendencia temporal. La selección bajo metodología SMART y el catálogo final se desarrollan en la [sección 5.1](#) y la [sección 5.4](#).

3.2.3 OE3 — Dashboard, alertas y validación

OE3. Desarrollar el dashboard con vistas ejecutivas y operativas, reglas de alerta y guía de uso, y validarlo mediante un caso de estudio para comprobar claridad y utilidad.

OE3 integra los productos de OE1 y OE2 en un aplicativo funcional con dos ergonomías —vista ejecutiva para director y contratante; vista operativa para residente, contador e interventor—, un motor de reglas de alerta que evalúa los indicadores contra los umbrales configurados y una guía de uso por rol. La validación se materializa contra el caso de estudio del [capítulo 6](#) y la evaluación funcional del [capítulo 7](#), integradas sobre el aplicativo construido.

Capítulo 4

Metodología

Este capítulo articula el diseño metodológico del trabajo. La pregunta de investigación, formulada en la [sección 1.4](#) del [capítulo 1](#), exige diseñar y evaluar un artefacto informacional, no estimar un parámetro poblacional. La hipótesis de diseño, los criterios de aceptación y las tolerancias se enuncian en la [sección 1.5](#); el presente capítulo justifica el paradigma adoptado, mapea las actividades del proyecto a la metodología *Design Science Research*, declara los tipos de artefacto producidos, especifica el diseño de la evaluación y discute las dimensiones de validez.

4.1 Paradigma de investigación

El objeto del trabajo es informacional y artefactual. Diseñar, en el sentido de Hevner et al. (2004), es producir un artefacto cuya existencia y comportamiento puedan verificarse; comparar, en el sentido de Gregor y Hevner (2013), es someter ese artefacto a un patrón de evaluación que permita pronunciarse sobre su utilidad. Ambas operaciones son constitutivas del paradigma *Design Science Research*, formalizado por Hevner et al. (2004), operacionalizado en seis actividades por Peffers et al. (2007) y refinado para fines de posicionamiento por Gregor y Hevner (2013).

La elección de este paradigma frente a las alternativas se justifica por exclusión. El positivismo cuantitativo demanda un parámetro poblacional con identificación causal; el objeto de la tesis no es ese parámetro sino un artefacto. El estudio de caso interpretativo demanda una lectura hermenéutica de las prácticas; el objeto no es esa lectura sino un sistema con módulos, indicadores y reglas de alerta. La investigación-acción demanda intervención iterativa con una organización; el alcance de la Maestría y la decisión de confidencialidad del caso descartan ese diseño.

4.2 Mapeo a las seis actividades de Peffers

Las seis actividades de Peffers et al. (2007) se mapean al proyecto con la [tabla 4.1](#).

Tabla 4.1

Mapeo de las seis actividades del paradigma al proyecto

Actividad	Fase	Entregable	Enfoque de verificación
1. Identificación del problema	Inicio	capítulo 1 : magnitud, causas, brecha.	Revisión cualitativa contra literatura colombiana e internacional.
2. Definición de objetivos	Inicio	capítulo 3 : OG, OE1, OE2, OE3.	Trazabilidad descriptiva de cada objetivo a la pregunta de investigación.
3. Diseño y desarrollo	Diseño	capítulo 5 : catálogo, modelo financiero, modelo de calidad, decisión arquitectónica, construcción.	Documentación de cada decisión de diseño con su fundamento.
4. Demostración	Validación	capítulo 6 : caso de estudio real con imágenes del aplicativo.	Recorrido funcional del aplicativo sobre el caso.
5. Evaluación	Validación	capítulo 7 : encuesta a profesionales del sector.	Recolección y análisis de percepciones del rol directivo.
6. Comunicación	Cierre	capítulo 8 : documento de tesis, manual breve y guías por rol.	Entrega de los productos documentales.

4.3 Tipo de artefacto producido

Dentro de la taxonomía de Hevner et al. (2004), la tesis concentra su contribución original en dos tipos: un constructo y un modelo. La instanciación ejecutable —el aplicativo Civil_BuildFlow— es el vehículo que materializa ambos artefactos.

El *constructo* es un catálogo de indicadores para el seguimiento de contratos de obra pública en Colombia, trazable al marco normativo aplicable —Ley 80 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, 1993), Ley 1150 de 2007 (Congreso de la República de Colombia, 2007), Decreto 1082 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015), manuales del Institu-

to Nacional de Vías (Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022a, 2022b), séptima edición del cuerpo de conocimiento de gerencia de proyectos (Project Management Institute, 2021) y norma de calidad (International Organization for Standardization, 2015)—. Los indicadores se calculan sobre el total del contrato definido como $BAC = CD + AUI$, con AUI como porcentaje adicional sobre el costo directo. El catálogo incluye reglas de alerta accionables vinculadas al rol del usuario.

El *modelo* es el modelo conceptual del aplicativo —entidades y relaciones— que articula los dominios contractuales bajo la jerarquía donde el costo directo controla el alcance y el AUI opera como rubro complementario expresado como porcentaje sobre el costo directo. Los dominios son presupuesto, programación, ejecución física, ejecución financiera, calidad, cambios contractuales y riesgos.

4.4 Diseño de la evaluación

La evaluación combina dos vías complementarias. La primera es una prueba funcional del cargue y operación del aplicativo sobre un caso de estudio real, en el sentido enumerado por Gregor y Hevner (2013). La segunda es una validación funcional y de usabilidad mediante encuesta a profesionales del sector. La distinción es crítica: la primera evalúa si el aplicativo opera correctamente sobre datos reales del dominio —cargue sin errores, cálculo automático de indicadores, generación de actas parciales, disparo de alertas según umbrales—; la segunda evalúa si lo que computa y muestra es claro, útil y apoya efectivamente la toma de decisiones.

4.4.1 Protocolo de validación en seis fases

Fase 1. Construcción del caso de estudio real. Los autores aportan un contrato de obra pública con su presupuesto, cronograma, anticipo, actas modificatorias, actas de cobro, registros de calidad y cambios contractuales. La identificación de la entidad contratante y del contratista se omite

por confidencialidad.

Fase 2. Cargue del caso al aplicativo. Los autores digitan la información del caso en el aplicativo a través de las plantillas estructuradas del módulo de carga y de los formularios de cada módulo, replicando el flujo operativo por rol: el residente carga avances y ensayos, el contador digita los componentes tributarios de cada acta y el interventor valida las certificaciones.

Fase 3. Verificación del cargue. Se confirma que el aplicativo recibió la totalidad de la información del caso sin errores de validación: el presupuesto por capítulo, la línea base del cronograma, los avances físicos por actividad y por corte, los ingresos y egresos del módulo contable, los ensayos prescritos y ejecutados, las actas modificatorias con sus cambios, las actas de cobro con sus tres fechas y los registros de retenciones tributarias del contrato.

Fase 4. Operación funcional del aplicativo. El aplicativo calcula automáticamente los seis indicadores del catálogo sobre la información cargada, genera las actas parciales automáticas a partir de los avances físicos consolidados, expone las vistas ejecutiva y operativas y dispara las alertas según los umbrales configurados por contrato.

Fase 5. Verificación de criterios de aceptación. Se evalúan los tres criterios sobre la operación del aplicativo: CA1 prueba funcional, CA2 trazabilidad documental del catálogo, CA3 disparo correcto de las alertas según los umbrales.

Fase 6. Encuesta de percepción y usabilidad. La validación funcional se ejecuta mediante encuesta a profesionales del sector —interventores, supervisores, directores de obra, contratistas y contadores de obra— con un instrumento que combina la *System Usability Scale* de Brooke (1996) y el *Technology Acceptance Model* de Davis (1989) adaptados al contexto colombiano.

4.4.2 *Criterios de aceptación*

CA1. El aplicativo carga la totalidad de la información del caso de estudio sin errores de validación, calcula los seis indicadores del catálogo con valores plausibles para el caso cargado, genera las actas parciales automáticas a partir de los avances físicos consolidados y mantiene la trazabilidad fórmula-norma documentada en cada vista. **CA2.** El 100 % de los indicadores del catálogo enlaza a una fuente normativa o académica con identificador verificable. **CA3.** Las alertas del aplicativo se disparan en concordancia con los umbrales configurados por contrato y el panel refleja la severidad y la priorización esperadas.

4.5 Validez

La **validez interna** se sostiene en la cita normativa o académica de la fórmula de cada KPI en el catálogo de la [sección 5.4](#), materializada en la columna “Fuente normativa” de la tabla maestra. La **validez externa** se acota deliberadamente: un único caso de estudio limita la generalización, mitigada con la selección de un caso real con movimientos contractuales frecuentes y con la encuesta de la Fase 6 que recoge juicio experto fuera del caso. La **validez de constructo** se respalda con fuentes verificables (Fleming & Koppelman, [2010](#); International Organization for Standardization, [2015](#); Project Management Institute, [2021](#)) y se enmarca en el criterio CA2 (trazabilidad fórmula-norma del 100 % del catálogo). La **validez de conclusión estadística** no aplica al diseño: la evaluación opera por construcción —prueba funcional del aplicativo sobre un caso real— y no por muestreo poblacional.

4.6 Riesgos metodológicos

RM1. La tradición regional es más cercana al estudio de caso; la mitigación es la justificación explícita del paradigma como idóneo para investigación orientada al artefacto. **RM2.** El número

limitado de revisores expertos para la encuesta puede afectar la potencia descriptiva; la mitigación es declarar el número mínimo viable y reportar los resultados con su intervalo. **RM3.** Subcobertura del caso de estudio; la mitigación es exigir al caso un mínimo de movimientos frecuentes (actas modificatorias, actas de cobro, retenciones tributarias por pago, ensayos con no conformidad). **RM4.** Cambios normativos durante la ejecución; la mitigación es versionar las normas con número y año y diseñar catálogos configurables. **RM5.** Sesgo de sobreajuste del aplicativo al caso; la mitigación es procedimental: los catálogos del aplicativo se cierran antes de cargar el caso real.

Capítulo 5

Diseño y desarrollo

Este capítulo materializa la actividad 3 del paradigma *Design Science Research —Design and Development—* aplicada al artefacto Civil_BuildFlow. El capítulo se organiza en siete subsecciones que avanzan del análisis al diseño concreto: la selección del conjunto acotado de indicadores bajo metodología SMART; el modelo de calidad bajo norma técnica colombiana; el modelo financiero contractual; el catálogo final de los indicadores con sus fórmulas y umbrales; la decisión arquitectónica entre una plataforma de *Business Intelligence* de mercado y una solución a la medida; la selección de la arquitectura tecnológica que materializa la decisión arquitectónica; y la construcción del artefacto con su estructura modular, su flujo de datos y su anatomía cliente-servidor. La cobertura es exhaustiva en el sentido de la *Guideline 6* de Hevner et al. (2004) —*Design as a Search Process*—: cada subsección representa una decisión de diseño con alternativas consideradas y veredicto explícito.

5.1 Selección de indicadores con metodología SMART

La selección de indicadores que el aplicativo expone al usuario es una decisión de diseño no trivial. La literatura ofrece un universo amplio de indicadores. Exponer la unión de los inventarios reproduciría la fragmentación que el trabajo se propone resolver (Huang et al., 2021) y la sobrecarga cognitiva del rol ejecutivo (Few, 2013). El criterio de selección debe ser explícito.

La metodología SMART provee ese filtro (Doran, 1981; Parmenter, 2015). Cada indicador admisible debe ser *específico* —una sola dimensión, sin yuxtaposiciones—, *medible* con datos del modelo del aplicativo, *accionable* —el rol consumidor puede tomar una decisión cuan-

do el semáforo cambia—, *relevante* —trazable a una norma o a una práctica documentada— y *temporal* —evaluable al corte de seguimiento—.

5.1.1 Aplicación del filtro al dominio

Tres descartes operan sobre el universo. Primero, los indicadores monetarios absolutos del marco de valor ganado son específicos, medibles, alcanzables y acotados en el tiempo, pero su relevancia depende del tamaño del contrato: una variación monetaria fija puede ser trivial en un contrato grande y catastrófica en uno pequeño. Los indicadores monetarios absolutos se conservan como vistas informativas y solo los cocientes y porcentajes pasan al catálogo final con semáforo. Segundo, el índice clásico de cronograma pierde poder discriminante al final del proyecto; Lipke (2003) corrige el sesgo con el marco de cronograma ganado. Tercero, los indicadores de cambios contractuales incluyen varios agregados; el criterio de accionabilidad obliga a retener únicamente la magnitud acumulada del cambio sobre el presupuesto inicial.

5.1.2 Catálogo final de seis indicadores

1. CPI_t —**costo**—. Rol primario: director. Fuente: Fleming y Koppelman (2010) y Project Management Institute (2021); capacidad predictiva desde el veinte por ciento de avance (De Marco & Narbaev, 2013).
2. $SPI(t)$ —**tiempo**—. Rol primario: director e interventor. Fuente: Lipke (2003).
3. EAC_t —**estimación a la finalización**—. Rol primario: contratante y contratista. Fuente: Anbari (2003) y Project Management Institute (2021).
4. $\%LC_t$ —**porcentaje de lotes conformes**—. Rol primario: interventor. Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) (2015), International Organization for Standardization (2015), Islam et al. (2021) y Rumane (2017); ancla técnica en Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) (2022a).

5. DSO_t —**días promedio de cartera**—. Rol primario: contratista. Fuente: Kenley (2003).
6. $\% \Delta P_t$ —**variación acumulada del presupuesto**—. Rol primario: contratante y director. Fuente: Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente (2018), Congreso de la República de Colombia (2007) y Presidencia de la República de Colombia (2015).

5.1.3 Demostración SMART en cuatro indicadores representativos

CPI_t (**costo**). Mide la eficiencia del consumo de costo mediante el cociente $CPI_t = EV_t / AC_t$ (Project Management Institute, 2021). Los dos insumos son numéricos y trazables. Los datos requeridos están en los registros que los actores ya producen en su práctica. El director acciona específicamente con base en este indicador. Se evalúa al cierre de cada corte y produce una serie temporal continua.

$SPI(t)$ (**tiempo**). Mide la eficiencia del cronograma sobre el eje del tiempo: $SPI(t) = ES_t / AT_t$ (Lipke, 2003). Los insumos provienen de la línea base del cronograma y de los avances físicos del residente. El director y el interventor accionan sobre valores inferiores a un umbral. Conserva poder discriminante incluso en la fase final.

$\%LC_t$ (**calidad**). Mide el porcentaje de lotes ensayados que cumplen el criterio de aceptación. Los ensayos se ejecutan en la práctica del Plan de Calidad de Obra; el aplicativo no demanda ensayos adicionales. El interventor acciona para condicionar la liberación de pago de un capítulo con no conformidades.

DSO_t (**cartera**). Mide el lapso promedio en días entre la fecha de presentación y la fecha de pago de las actas pagadas al corte. Las tres fechas se registran en el módulo de cobro. El contratista acciona sobre este indicador para gestionar tesorería.

Los cuatro indicadores satisfacen los cinco criterios SMART de manera explícita y verifi-

cable. Los dos restantes — EAC_t y $\% \Delta P_t$ — responden a la misma lógica.

5.1.4 Verificación SMART por indicador

Tabla 5.1

Verificación SMART de los seis indicadores del catálogo

Indicador	S	M	A	R	T	Justificación
CPI_t	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Cociente adimensional; decisión del director sobre costo.
$SPI(t)$	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Robusto al sesgo final; decisión del director sobre tiempo.
EAC_t	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Predictivo del cierre; insumo del contratista y control externo.
$\%LC_t$	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Lotes conformes; decisión del interventor.
DSO_t	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Cartera del contratista.
$\% \Delta P_t$	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Magnitud de modificaciones; decisión del contratante.

Notas. S, M, A, R y T corresponden a los criterios específico, medible, alcanzable, relevante y acotado en el tiempo. Las fórmulas y umbrales se desarrollan en la [sección 5.4](#).

5.1.5 Indicadores informativos

Los indicadores monetarios absolutos del marco de valor ganado —valor planeado, valor ganado, costo real, variaciones absolutas, estimación monetaria a la conclusión— se exponen como tendencias sin semáforo. Los conteos de actas modificatorias y de cambios por tipo se exponen como contadores en la vista de cambios contractuales. La separación entre semáforo accionable e información de fondo materializa el criterio de accionabilidad y se alinea con el modelo de monitorear, analizar y profundizar de Eckerson (2010).

5.2 Modelo de calidad

Este capítulo articula el modelo de calidad del aplicativo sobre tres planos: el marco metodológico de aseguramiento y control, el catálogo de ensayos como ejemplo de configuración extensible y los indicadores de calidad que sintetizan el estado del sistema de gestión.

5.2.1 Marco metodológico

El modelo de calidad se articula en tres capas concéntricas: una capa internacional de sistema de gestión de calidad, una capa institucional sectorial y una capa operativa que el módulo de calidad instancia.

La capa internacional la configura la norma ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization, 2015) y su adopción colombiana idéntica (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2015). International Organization for Standardization (2021) fija el marco general de proyectos y International Organization for Standardization (2020) sistematiza la gestión de calidad como subproceso integrado al ciclo de gerencia. Las cláusulas operativas relevantes son la liberación de productos y servicios, el control de salidas no conformes, el seguimiento y la no conformidad con acción correctiva. La capa institucional vial la provee el Instituto Nacional de Vías por dos instrumentos: el Manual de Interventoría (Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022b) y las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022a). Rumane (2017) provee el referente académico canónico de gestión de calidad en proyectos de construcción.

El Plan de Calidad de Obra se traduce en cuatro componentes que el módulo de calidad instancia: un plan de muestreo y ensayos por capítulo de obra, un programa de inspección, un registro de no conformidades con causa raíz, plan de cierre y estado, y un plan de aceptación con criterios numéricos. Estos cuatro componentes se materializan en el aplicativo según la [subsección 5.2.4](#).

5.2.2 Convenciones

Convención de intervalos. Los semáforos verde, amarillo y rojo se declaran sobre intervalos disjuntos. Para indicadores donde valores altos son favorables, los intervalos se escriben

verde igual o mayor al umbral superior, amarillo en el intervalo intermedio y rojo inferior al umbral inferior. Para indicadores donde valores bajos son favorables, los intervalos se escriben en sentido inverso.

5.2.3 Catálogo de ensayos como ejemplo de configuración

El catálogo de ensayos que se presenta a continuación es *ilustrativo y no exhaustivo*. Colombia dispone de un universo amplio de normas técnicas colombianas y de normas de ensayo del Instituto Nacional de Vías aplicables a obra civil cuya enumeración total excede el alcance documental de una tesis de maestría. Las tablas seleccionan cuatro categorías representativas de la obra vial pública por su relevancia frecuente en el régimen del Instituto Nacional de Vías.

El módulo de calidad del aplicativo se diseña, por esta razón, como un *catálogo extensible por el usuario*. El administrador del contrato puede registrar nuevas entradas —tipo de ensayo, norma de referencia, sección normativa, frecuencia mínima, criterio de aceptación e indicador alimentado— sin recompilación del aplicativo. Las cuatro tablas operan como semilla de configuración inicial y como demostración de la estructura informativa; el usuario adapta o amplía el catálogo a la tipología específica de su obra. La fecha de corte normativa de las entradas presentadas es 28 de abril de 2026.

Concretos. El concreto estructural es el material crítico del componente de obra civil. El catálogo cubre cinco familias: ensayos sobre concreto fresco, elaboración y curado de especímenes, ensayos sobre concreto endurecido, especificaciones de materiales constituyentes y ensayos sobre morteros. La sección del Instituto Nacional de Vías asociada por defecto es la 630 para concreto estructural y la 600 para materiales constituyentes.

Tabla 5.2*Catálogo ilustrativo de ensayos para concretos*

NTC	Año	Parámetro medido	Sección	Indicador
NTC 673 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2021b)	2021	Resistencia a compresión cilindros (MPa)	630	Q1
NTC 454 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2022b)	2022	Toma de muestras concreto fresco	630	Q3
NTC 550 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2020)	2020	Elaboración y curado en obra	630	Q3
NTC 1377 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2021a)	2021	Elaboración y curado en laboratorio	630	Q3
NTC 396 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2024)	2024	Asentamiento del cono de Abrams (mm)	630	Q1

NTC	Año	Parámetro medido	Sección	Indicador
NTC 1032 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2013)	2013	Contenido de aire en concreto fresco (%)	630	Q1
NTC 220 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2022a)	2022	Resistencia compresión morteros	630	Q1
NTC 121 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2023)	2023	Cemento hidráulico (tipos 1 a 5)	600	Q1
NTC 174 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2018a)	2018	Especificaciones de agregados	600	Q1
NTC 77 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2018b)	2018	Granulometría de agregados	600	Q1

Otras categorías del catálogo. Las demás categorías típicas del Plan de Calidad de Obra —aceros de refuerzo, suelos y bases granulares, asfaltos y mezclas asfálticas, redes hidráulicas, redes eléctricas, edificación general— siguen la misma estructura de cinco columnas que la [tabla 5.2](#), con normas NTC e INV específicas y secciones del Instituto Nacional de Vías o de la NSR-10 y RETIE según corresponda. El catálogo extensible del aplicativo permite al administrador del contrato registrar nuevas entradas desde el panel de administración sin recompilación, lo que sostiene la cobertura de la tipología específica de cada obra sin imponer un universo cerrado en el documento de tesis.

5.2.4 Plan de Calidad de Obra y su materialización

El Plan de Calidad de Obra se materializa en el módulo de calidad del aplicativo. El módulo expone, por cada ensayo prescrito del catálogo, una tupla con seis atributos: tipo de ensayo, norma de referencia, sección normativa, frecuencia mínima, criterio de aceptación y capítulo de obra al que aplica. El catálogo es extensible por el usuario: el administrador del contrato registra nuevas entradas desde el panel de administración sin recompilación del aplicativo, y los indicadores de calidad los consumen automáticamente. El módulo expone también un calendario de inspección con responsable, fecha programada y fecha efectiva; el desfase entre las dos alimenta al indicador de ensayos vencidos. La entidad de no conformidad articula descripción, capítulo o lote afectado, causa raíz, plan de cierre y estado. La columna de conformidad del registro de ensayo se calcula automáticamente comparando el resultado contra el criterio de aceptación cargado.

5.2.5 Indicadores de calidad

El módulo de calidad expone cuatro indicadores canónicos que sintetizan el estado del sistema de gestión al corte.

Q1: porcentaje de lotes conformes. Captura la conformidad agregada de los lotes inspeccionados al corte:

$$\%LC_t = \frac{N_{\text{lotos conformes}}^t}{N_{\text{lotos inspeccionados}}^t} \times 100. \quad (5.1)$$

Umbral por defecto: verde igual o mayor al noventa y cinco por ciento, amarillo entre noventa y noventa y cinco por ciento, rojo inferior al noventa por ciento.

Q2: no conformidades abiertas. Cuenta los reportes de no conformidad sin cerrar al corte:

$$\text{NCR}_t^{\text{abiertas}} = N_{\text{NCR creadas}}^{\leq t} - N_{\text{NCR cerradas}}^{\leq t}. \quad (5.2)$$

Umbral por defecto calibrados al perfil de cada contrato.

Q3: ensayos vencidos. Cuenta los ensayos prescritos cuya fecha programada ha pasado sin que se hayan ejecutado al corte. Es un indicador de programación que articula con el componente de cronograma.

Q4: índice de retrabajo. Cociente del costo del retrabajo acumulado al corte sobre el costo ejecutado acumulado. Indica la magnitud económica de las no conformidades materializadas.

5.2.6 Relación entre la métrica %LC y la gestión de no conformidades

El módulo de calidad distingue dos objetos contables: el **ensayo ejecutado** (ensayo_ejecutado), que registra el resultado físico y calcula automáticamente la conformidad contra el criterio de aceptación del catálogo, y la **no conformidad** o NCR (no_conformidad), que documenta el proceso de gestión de remediación (causa raíz, plan de cierre, ciclo abierta → en revisión → cerrada).

Esta separación responde a la cláusula 10.2 de la norma ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization, 2015), que prescribe el tratamiento de las no conformidades

como un proceso documental con análisis de causa, acción correctiva y verificación de eficacia, separado del registro técnico del ensayo. En consecuencia, el indicador $\%LC$ mide la calidad técnica intrínseca del ensayo:

$$\%LC = \frac{N_{\text{ensayos conformes con } kpi=Q_1}}{N_{\text{ensayos ejecutados con } kpi=Q_1}} \times 100, \quad (5.3)$$

y no se ve afectado por el estado de la NCR. Una NCR cerrada no eleva el $\%LC$ porque el ensayo individual sigue siendo no conforme; lo que la NCR documenta es la remediación del material o lote afectado, que típicamente se verifica con un ensayo nuevo, el cual sí impacta el $\%LC$.

Para que esta separación no se convierta en un olvido operativo, el sistema crea automáticamente una NCR vinculada (`ensayo_ejecutado_id`) cuando un ensayo se registra con `conformidad = falso`. La descripción se pre-llena con tipo de ensayo, valor obtenido, criterio de aceptación y fecha de ejecución; la causa raíz y el plan de cierre quedan pendientes para que el residente o interventor los completen antes de avanzar el estado de la NCR. Esta automatización conserva la trazabilidad de la norma ISO 9001 sin acoplar el KPI $\%LC$ al proceso de gestión.

5.2.7 Riesgos del componente de calidad

RCQ1. Disponibilidad de personal calificado para la ejecución de ensayos. **RCQ2.** Variabilidad en la interpretación de criterios de aceptación. **RCQ3.** Pérdida de muestras o de soportes documentales. **RCQ4.** Capacidad limitada de laboratorios externos. **RCQ5.** Calibración por defecto de los umbrales para contratos con perfil de riesgo distinto; configurable por contrato. **RCQ6.** Cobertura del catálogo más allá de la obra vial; el aplicativo trata el catálogo como módulo extensible por el usuario.

5.2.8 Síntesis

El modelo de calidad articula la capa internacional, la capa institucional vial y la capa operativa del módulo de calidad del aplicativo. El catálogo de ensayos es ilustrativo y extensible por el usuario, no un universo cerrado. Los cuatro indicadores Q1 a Q4 sintetizan el estado del sistema de gestión y alimentan al módulo de alertas con umbrales configurables por contrato.

5.3 Modelo financiero contractual

Este capítulo define el modelo financiero contractual del aplicativo sobre tres planos: la estructura de costos del contrato, las entidades mínimas del módulo contable y la articulación con el catálogo de indicadores. La cobertura es deliberadamente acotada: el aplicativo registra el seguimiento operativo del contrato y no sustituye al sistema contable de la empresa contratista ni a la oficina financiera de la entidad contratante.

5.3.1 Estructura de costos del contrato

El precio pactado de un contrato de obra pública se descompone en dos componentes acoplados pero conceptualmente distintos: el costo directo, que controla el alcance físico, y el porcentaje de Administración, Imprevistos y Utilidad (AUI), que se aplica como porcentaje adicional sobre el costo directo.

El *costo directo* (CD) es la sumatoria del producto de los ítems del presupuesto por sus cantidades y sus precios unitarios:

$$CD = \sum_{i \in \mathcal{I}} q_i \cdot p_i, \quad (5.4)$$

donde $\mathcal{I}$ es el catálogo de ítems del presupuesto, q_i la cantidad pactada del ítem i y p_i su precio unitario. El costo directo es la línea base presupuestal que controla el alcance del contrato; cada ítem está asociado a una unidad física verificable (metros cúbicos de concreto, metros lineales de

tubería, metros cuadrados de placa) que la interventoría certifica al medir el avance.

El *AUI* es un porcentaje adicional que se aplica sobre el costo directo para conformar el precio del contrato:

$$AUI = \alpha \cdot CD, \quad BAC = CD + AUI = CD \cdot (1 + \alpha), \quad (5.5)$$

donde α es el porcentaje AUI pactado (típicamente entre el 15 % y el 30 % en obra pública colombiana, sin ser este un rango regulado) y *BAC* es el presupuesto a la finalización, en la nomenclatura de *Earned Value Management* (Fleming & Koppelman, 2010; Project Management Institute, 2021). El AUI captura, en una sola cifra agregada, los componentes de administración del contratista, la contingencia para eventos no previstos y la utilidad esperada al cierre.

La descomposición interna del AUI en sus tres letras corresponde a trazabilidad contable interna del contratista; no son tres bolsas autónomas con presupuesto, consumo y saldo independientes que controlen el alcance del contrato. El alcance lo controla el costo directo a través de los ítems del presupuesto, no la composición A/I/U del porcentaje (Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente, 2024a). La decisión de diseño es trabajar con un único BAC unificado: la curva~S, el valor planeado, el valor ganado y los indicadores derivados se calculan sobre el total del proyecto sin separar componentes.

5.3.2 Desagregación contable del AUI

El AUI pactado se captura desagregado en sus tres componentes tradicionales —Administración (*A*), Utilidad (*U*) e Imprevistos (*I*)— como metadata contable del contratista. Esta desagregación es trazabilidad interna sin KPIs propios. El BAC sigue calculándose con el total agregado:

$$\alpha = A + U + I, \quad BAC = CD \cdot (1 + \alpha), \quad (5.6)$$

por lo que el desglose no introduce indicadores adicionales (no se computa $\%CB^{Adm}$, $\%CB^{Util}$ ni $\%CB^{Imp}$). Su utilidad es doble: habilitar reportes de control interno del contratista y parametrizar el umbral verde del KPI $\%\Delta P$ a partir del % de Imprevistos pactado, según el esquema descrito en la [subsección 5.4.4](#). Cuando el contratista no desagrega A/U/I al cargar el contrato, el aplicativo aplica un default conservador para el umbral verde de $\%\Delta P$ y lo registra como tal en la configuración de alertas.

5.3.3 *Macrocapítulos como agrupador opcional*

El modelo de datos del presupuesto se extiende con un nivel jerárquico adicional opcional: el **macrocapítulo** (macrocapítulo). Esto responde al patrón frecuente en obras de mediana y gran envergadura donde el contratista organiza el costo directo en agrupadores temáticos —por ejemplo “A obras preliminares”, “B estructura y pavimento”, “C redes hidrosanitarias”—, cada uno con varios capítulos y sus respectivos ítems.

La jerarquía resultante es:

$$\text{contrato} \rightarrow \text{macrocapítulo}^* \rightarrow \text{capítulo} \rightarrow \text{ítem},$$

donde el asterisco indica que el nivel es opcional. Un capítulo puede pertenecer a un macrocapítulo del mismo contrato o vivir suelto bajo el contrato directamente, garantizando retrocompatibilidad con presupuestos sin agrupación temática. La regla $BAC = CD \cdot (1 + \alpha)$ no se altera: el macrocapítulo es un agrupador puramente visual y de subtotales, sin impacto en el cálculo del CD ni en los pesos PV del cronograma.

El macrocapítulo se captura por dos vías equivalentes. La primera son las columnas opcionales `macrocapitulo_codigo` y `macrocapitulo_nombre` en la plantilla Excel del presupuesto: el backend autocrea el macrocapítulo si el código no existe y asigna a él los capítulos que lo refe-

rencian. La segunda es la gestión manual desde la interfaz administrativa con un CRUD dedicado. Para tolerar el patrón humano de combinar celdas en Excel y dejar en blanco los códigos repetidos, el cargador desfusiona las celdas combinadas propagando el valor y aplica *forward-fill* sobre las columnas de agrupación, eliminando el error frecuente de “celda requerida vacía” que aparece al validar archivos con formato visual.

5.3.4 Módulo contable del aplicativo

El módulo contable persiste el seguimiento financiero operativo del contrato en cuatro entidades acopladas. La descripción es estructural; la especificación detallada del modelo de datos pertenece a la fase de construcción del artefacto.

Reconocimiento de avance e ingresos. El ingreso del contrato se reconoce a medida que la interventoría certifica el avance físico. El módulo contable registra, por cada acta, el porcentaje de avance certificado y el valor asociado calculado al precio unitario contractual y al porcentaje AUI pactado. La factura y el pago son hechos posteriores que no disparan reconocimiento adicional: alimentan el indicador de cartera del catálogo de la [sección 5.4](#).

Delegación del cálculo tributario al contador. El aplicativo registra los impuestos y retenciones tributarias aplicables a cada acta o egreso como atributos libres del registro. El contador digita manualmente, por acta, los valores liquidados —impuesto al valor agregado, retención en la fuente, impuesto de industria y comercio, estampillas departamentales y municipales, contribuciones especiales— y el aplicativo persiste cada digitación con trazabilidad temporal del usuario, la fecha y el valor digitado. El aplicativo no automatiza el cálculo tributario por la heterogeneidad territorial del régimen colombiano y por la mutabilidad frecuente de tarifas y bases. La responsabilidad profesional permanece en el contador, que certifica los valores con su firma; el aplicativo aporta consolidación y reporte de esos valores en el contexto del avance y del flujo

Tabla 5.3*Entidades mínimas del módulo contable*

Entidad	Propósito	Campos clave
Contrato	Datos básicos del contrato.	Identificador; valor de costo directo; porcentaje AUI; valor del BAC; valor del anticipo pactado; fechas de inicio y plazo.
Acta de avance	Acta parcial generada por consolidación de avances físicos. Fuente del reconocimiento de ingresos del contratista.	Identificador; fecha de certificación; fecha de presentación; fecha de pago; porcentaje de avance certificado por ítem; valor del acta; observaciones de interventoría.
Retenciones del contrato	Retenciones tributarias aplicables a cada pago del contrato, digitadas por el contador.	Identificador; acta o egreso asociado; tipo de retención (IVA, retención en la fuente, ICA, estampillas, contribuciones especiales); base de cálculo; valor retenido; normativa territorial aplicable.
Terceros	Catálogo de proveedores, subcontratistas y demás terceros del contrato.	Identificador; razón social; documento de identidad; régimen tributario; datos de contacto; cuenta bancaria para pagos.
Ingresos	Ingresos del contrato distintos de las actas de avance, incluidos rendimientos del anticipo y ajustes a favor.	Identificador; concepto; valor; fecha; soporte; trazabilidad al acta o ítem relacionado.
Egreso del contrato	Costos directos o indirectos atribuibles al contrato, con impuestos digitados por el contador.	Identificador; tercero; centro de costo; ítem asociado; valor del egreso; atributo libre de impuestos y retenciones; soporte.

Notas. Las seis entidades cubren el seguimiento financiero operativo del contrato. La separación de tres fechas en el acta de avance —certificación, presentación, pago— permite calcular el indicador de cartera y mantener trazabilidad temporal. La entidad de retenciones consolida los tributos digitados acta por acta; el catálogo de terceros centraliza los datos de proveedores y subcontratistas; y la entidad de ingresos captura los movimientos a favor del contratista distintos del acta parcial.

de caja del contrato.

Multiproyecto. Un mismo usuario puede tener varios contratos asignados, cada uno con su propia configuración tributaria, sus umbrales de alerta y su régimen contractual particular. La trazabilidad de los parámetros queda anclada al contrato, no al usuario, lo que permite a un contador operar dos obras con regímenes territoriales distintos sin interferencia entre proyectos.

5.3.5 *Articulación con el catálogo de indicadores*

El modelo financiero alimenta dos familias de indicadores del catálogo de la [sección 5.4](#). La familia de costo y cronograma del marco *Earned Value Management* —valor planeado, valor ganado, costo real, índices de desempeño en costo y cronograma, estimación a la finalización— se calcula sobre el total del proyecto $BAC = CD + AUI$, sin separación por componente AUI ni por sus sub-cuentas. La familia financiera derivada del módulo contable —días promedio entre presentación y pago de actas y variación acumulada del presupuesto por modificaciones contractuales— se computa sobre las entidades de acta de avance y registro de cambios, con apoyo del catálogo de terceros y de la entidad de retenciones tributarias del contrato. La curva~S de avance acumulado y el porcentaje acumulado de cambios contractuales también se calculan contra el BAC unificado. No se incluyen indicadores específicos del AUI ni de sus sub-cuentas: el AUI se reporta como rubro complementario en los reportes financieros, sin semáforo propio.

5.3.6 *Síntesis*

El modelo financiero contractual se asienta sobre tres decisiones acopladas. Primero, el costo directo controla el alcance del contrato a través de los ítems del presupuesto, y el AUI se modela como porcentaje adicional sobre el costo directo: el total del contrato es $BAC = CD + AUI$, sin separación de bolsas autónomas. Segundo, el módulo contable persiste seis entidades operativas —contrato, acta de avance, retenciones del contrato, terceros, ingresos y egreso— y delega al con-

tador la liquidación tributaria como digitación directa en la entidad de retenciones. Tercero, los indicadores de costo, cronograma y financieros de la [sección 5.4](#) se calculan sobre el BAC unificado y sobre las entidades del módulo contable. El alcance del aplicativo es complementario al sistema contable de la empresa contratista: aporta consolidación, trazabilidad temporal y cálculo de indicadores, no sustituye procesos contables corporativos.

5.4 Catálogo de indicadores

Este capítulo formaliza el catálogo de indicadores del aplicativo. La selección se sostiene en tres ejes: la metodología SMART aplicada al universo de indicadores documentados en la literatura de gerencia de construcción y en la práctica colombiana, la trazabilidad normativa explícita a la Ley 80 de 1993 (Congreso de la República de Colombia, [1993](#)), la Ley 1150 de 2007 (Congreso de la República de Colombia, [2007](#)), las resoluciones del Instituto Nacional de Vías sobre interventoría (Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), [2022b](#)), la séptima edición del cuerpo de conocimiento de gerencia de proyectos (Project Management Institute, [2021](#)) y la norma ISO~9001 con su adopción colombiana (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), [2015](#); International Organization for Standardization, [2015](#)), y la coherencia con el modelo financiero de la [sección 5.3](#) que fija $BAC = CD + AUI$ como base de cálculo única.

El catálogo opera con *seis indicadores maestros*, uno por dimensión crítica de seguimiento, que el aplicativo expone con semáforo verde, amarillo y rojo. Cada indicador se documenta con definición, fórmula, unidad, frecuencia de medición, umbrales por defecto, fuente del dato en el modelo y anclaje normativo o académico verificable.

5.4.1 Convención de semáforos y trazabilidad

Los semáforos verde, amarillo y rojo se declaran sobre intervalos disjuntos. Para indicadores donde valores altos son favorables —índice de desempeño en costo, índice de desempeño en crono-

grama, porcentaje de lotes conformes—, se usa la convención $V: x_t \geq \theta_V$, $A: x_t \in [\theta_A, \theta_V)$, $R: x_t < \theta_A$. Para indicadores donde valores bajos son favorables —días de cartera, porcentaje acumulado de cambios contractuales—, se usa la convención inversa $V: x_t < \theta_V$, $A: x_t \in [\theta_V, \theta_R)$, $R: x_t \geq \theta_R$. Los umbrales por defecto son decisión de diseño calibrada a contratos públicos típicos del régimen colombiano y son configurables por contrato desde el panel de administración del módulo de alertas.

La trazabilidad fórmula a fuente es propiedad estructural del catálogo: cada indicador enlaza a su fórmula y a la fuente normativa o académica que lo respalda con identificador verificable —DOI, ISBN, dirección institucional o número y año de norma—. La [tabla 5.4](#) consolida todos los elementos: fórmula, unidad, umbrales, anclaje normativo y rol consumidor primario.

5.4.2 Definición de los seis indicadores

Costo: CPI_t . Cociente entre el valor ganado y el costo real acumulado al corte:

$$CPI_t = \frac{EV_t}{AC_t}. \quad (5.7)$$

Mide la eficiencia del consumo de costo. Valores cercanos a uno indican consumo conforme a lo presupuestado; valores inferiores a uno indican sobrecosto. Umbrales por defecto: $V \geq 0,95$, $A \in [0,90, 0,95)$, $R < 0,90$. Fuente del dato: módulo de cronograma y avance para EV_t ; módulo contable para AC_t . Rol primario: director de obra.

Tiempo: $SPI(t)$. Cociente del cronograma ganado sobre el tiempo transcurrido, según el marco de *Earned Schedule* (Lipke, [2003](#)):

$$SPI(t)_t = \frac{ES_t}{AT_t}, \quad (5.8)$$

donde ES_t es el tiempo en el que el valor planeado iguala al valor ganado y AT_t es el tiempo transcurrido desde el inicio. Esta formulación corrige el sesgo del índice clásico al final del proyecto. Umbrales por defecto: $V \geq 0,95$, $A \in [0,90, 0,95)$, $R < 0,90$. Rol primario: director de obra.

Calidad: $\%LC_t$. Porcentaje de lotes ensayados que cumplen el criterio de aceptación contractual:

$$\%LC_t = \frac{N_t^{\text{conf}}}{N_t^{\text{insp}}} \times 100. \quad (5.9)$$

Sintetiza la conformidad agregada del Sistema de Gestión de Calidad al corte. Umbrales por defecto: $V \geq 95 \%$, $A \in [90, 95) \%$, $R < 90 \%$. Rol primario: interventor.

Cartera: DSO_t . Lapso promedio en días entre la fecha de presentación y la fecha de pago de las actas pagadas al corte:

$$DSO_t = \frac{1}{N} \sum_{i \leq t} (\text{fecha pago}_i - \text{fecha presentación}_i). \quad (5.10)$$

Mide la velocidad efectiva de recaudo del contratista. Umbrales por defecto: $V \leq 30\sim\text{días}$, $A \in (30, 60]\sim\text{días}$, $R > 60\sim\text{días}$. Rol primario: contratista y director financiero.

Cambios contractuales: $\%\Delta P_t$. Variación acumulada del presupuesto por modificaciones contractuales:

$$\%\Delta P_t = \frac{BAC_t - BAC_0}{BAC_0} \times 100. \quad (5.11)$$

Mide el desplazamiento del presupuesto inicial. Umbrales por defecto: $V < 5 \%$, $A \in [5, 15) \%$, $R \geq 15 \%$, con referencia al umbral legal del cincuenta por ciento de la Ley 1150 de 2007 (Congreso de la República de Colombia, [2007](#)). Rol primario: contratante y director de obra.

Estimación a la finalización: EAC_t . Proyección del costo total al cierre del contrato:

$$EAC_t = \frac{BAC_t}{CPI_t}. \quad (5.12)$$

Predice el cierre financiero del contrato. El EAC_t se expone como valor monetario absoluto de referencia para director de obra y contratante, sin semáforo V/A/R asociado, dado que su tolerancia debe expresarse como porcentaje del BAC y depende del perfil de riesgo del contratante. La lectura accionable del desempeño financiero proyectado se obtiene a través del indicador de variación a la finalización $\%VAC_t = (EAC_t - BAC_0)/BAC_0$, que el aplicativo expone como vista informativa derivada y al cual el administrador puede asociar umbrales V/A/R en la configuración del contrato si su política de control lo requiere. Rol primario: director de obra y contratante.

5.4.3 Tabla maestra del catálogo

La [tabla 5.4](#) consolida los seis indicadores maestros del aplicativo con su unidad, orientación del semáforo, disponibilidad de umbral por defecto sembrado al crear el contrato y fuente normativa o académica que respalda la fórmula. El criterio de aceptación CA2 —trazabilidad fórmula— se materializa en la columna “Fuente normativa” de la tabla.

5.4.4 Definición de los umbrales del semáforo V/A/R

Cada KPI se evalúa contra un esquema de tres bandas verde, amarilla y roja definido por dos puntos de corte, θ_v y θ_a , configurables por contrato en la tabla `alert_threshold_config` de la base de datos. La regla de evaluación depende de la orientación del indicador:

- **higher_is_better** (CPI, SPI(t), %LC): valor $\geq \theta_v$ verde; $\theta_a \leq \text{valor} < \theta_v$ amarillo; valor $< \theta_a$ rojo.

Tabla 5.4

Catálogo de KPIs maestros del aplicativo (CA2: trazabilidad fórmula-norma). El KPI EAC se calcula como referencia informativa y no tiene umbral por defecto sembrado.

Código	Nombre	Unidad	Orientación	Default	Fuente normativa
CPI	Índice de Costo	adim	higher_is_better	Sí	Fleming & Koppelman (2010)
SPI(t)	Earned Schedule	adim	higher_is_better	Sí	Lipke (2003)
EAC	Estimación al Completar	COP	lower_is_better	No	Project Management Institute (2021)
%LC	Lotes Conformes	%	higher_is_better	Sí (orient.)	Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) (2022c), International Organization for Standardization (2015) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010)
DSO	<i>Days Sales Outstanding</i>	días	lower_is_better	Sí (convencional)	Congreso de la República de Colombia (1993) y Presidencia de la República de Colombia (2015)
% ΔP	Variación del Presupuesto	%	lower_is_better	Sí (I del AUI)	Congreso de la República de Colombia (1993, 2011)

- **lower_is_better** (DSO, $\% \Delta P$): valor $\leq \theta_v$ verde; $\theta_v < \text{valor} \leq \theta_a$ amarillo; valor $> \theta_a$ rojo.

El tercer parámetro θ_r se conserva en el modelo de datos por compatibilidad y se fija $\theta_r = \theta_a$, dado que el comparador opera con dos cortes; queda como dato informativo en la interfaz de configuración.

El sistema siembra automáticamente al crear el contrato un conjunto mínimo de umbrales por defecto, orientativos y ajustables por el administrador. **CPI y SPI(t)** reciben $\theta_v = 1,00$ y $\theta_a = 0,90$, convención dominante en la práctica de gestión de valor ganado (Fleming & Koppelman, 2010). **DSO** recibe $\theta_v = 30$ y $\theta_a = 90$ ~días, convención de tesorería del orden nacional y territorial dado que la Ley 80 (Congreso de la República de Colombia, 1993) y el Decreto 1082 (Presidencia de la República de Colombia, 2015) no fijan plazo único. **%LC** recibe $\theta_v = 0,95$ y $\theta_a = 0,85$ como orientativos; la norma ISO 9001:2015 cláusula 9 (International Organization for Standardization, 2015) y la normativa técnica colombiana (Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), 2022c, 2024; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) fijan criterios por material o lote individual, no un umbral global. **EAC** no recibe default por ser valor monetario absoluto cuya tolerancia debe expresarse como % del BAC del contrato.

El indicador $\% \Delta P$ merece tratamiento especial. Por la naturaleza del indicador —que mide adiciones acumuladas frente al valor inicial—, los umbrales se derivan de tres referencias normativo-operativas concurrentes que el aplicativo combina en tres bandas. La banda verde se extiende hasta I , donde I es el porcentaje de Imprevistos pactado en el AUI del contrato (subsección 5.3.2): el componente I tiene por definición la función de absorber variaciones no previstas, por lo que cualquier $\% \Delta P \leq I$ está contemplado en el contrato firmado. El sistema lee I al aprobar el setup y lo persiste como θ_v ; en ausencia de desagregación A/U/I se aplica un default conservador de 0,05. La banda amarilla se extiende hasta 0,15: rango en el que las entidades con-

tratantes colombianas típicamente permiten la suscripción de actas adicionales sin exigir reformulación del proyecto, frontera operativa derivada de práctica institucional. La banda roja inicia en 0,15 y exige reformulación formal del proyecto; por encima del 0,50 se incumple el tope absoluto del inciso final del artículo 40 de la Ley 80 (Congreso de la República de Colombia, 1993) —salvo acto administrativo motivado o aplicación del artículo 92 de la Ley 1474 (Congreso de la República de Colombia, 2011) sobre obras complementarias—, condición que el aplicativo marca con indicador visual adicional en la tarjeta del KPI. La [tabla 5.5](#) resume los umbrales sembrados.

Tabla 5.5

Umbrales V/A/R por defecto sembrados al crear el contrato. Sobreescribibles desde la interfaz administrativa. El umbral verde de $\% \Delta P$ se personaliza al aprobar el setup con el % de Imprevistos pactado en el AUI; en su ausencia, se aplica el default conservador.

KPI	θ_v	θ_a	θ_r	Fuente del umbral
CPI	1,00	0,90	0,90	Convención EVM (Fleming & Koppelman, 2010)
SPI(t)	1,00	0,90	0,90	Convención EVM (Fleming & Koppelman, 2010)
%LC	0,95	0,85	0,85	Orientativo (ISO 9001 cláusula 9 fija criterio por lote)
DSO	30 d	90 d	90 d	Convención de tesorería (Ley 80 no fija plazo único)
$\% \Delta P$ (con AUI desglosado)	I del contrato	0,15	0,15	θ_v derivado del % de Imprevistos (subsección 5.3.2); $\theta_a = 15\%$ frontera operativa de reformulación
$\% \Delta P$ (sin desglose)	0,05	0,15	0,15	Default conservador; tope legal 50 % (Ley 80/1993 art. 40)
EAC	<i>Sin default</i>			Valor absoluto, depende del BAC

5.4.5 Indicadores informativos no incorporados al semáforo

Los indicadores monetarios absolutos del marco de valor ganado — PV_t , EV_t , AC_t , CV_t , SV_t , ETC_t , VAC_t — se exponen como tendencias en la curva~S y en gráficas de seguimiento, sin semáforo asociado: su relevancia para una alerta depende del tamaño del contrato, lo que viola

el criterio de accionabilidad de la metodología SMART. Los conteos de actas modificatorias y de cambios por tipo se exponen como contadores en la vista de cambios contractuales, también sin semáforo. La separación entre semáforo accionable e información de fondo materializa el criterio de accionabilidad de la metodología SMART aplicado en la [sección 5.1](#) y se alinea con el principio de monitorear, analizar y profundizar de Eckerson (2010).

5.4.6 Síntesis

El catálogo cierra su ciclo declarativo con seis indicadores maestros, cada uno con definición, fórmula, unidad, frecuencia, umbrales, fuente del dato, anclaje normativo y rol consumidor. La tabla maestra unificada de la [tabla 5.4](#) es la referencia que el aplicativo expone al usuario en el módulo de tablero ejecutivo y la que articula las reglas del motor de alertas.

5.5 Decisión arquitectónica: plataforma comercial frente a solución a la medida

Este capítulo articula la decisión arquitectónica del proyecto: desarrollar el aplicativo Civil_BuildFlow como aplicación web a la medida en lugar de implementar el tablero sobre la plataforma comercial Power BI de Microsoft. La decisión se enuncia como acto de diseño en el sentido del lineamiento sexto de Hevner et al. (2004) y se materializa contra los criterios derivados de los capítulos previos.

5.5.1 Marco de la decisión

La decisión se toma entre dos alternativas representativas: Power BI como producto líder de mercado y Civil_BuildFlow como aplicación a la medida diseñada para el régimen colombiano. La posición se alinea con la tipología de Gregor y Hevner (2013): la contribución del proyecto es de tipo mejora con componente de exaptación. La decisión arquitectónica es el acto que materializa la mejora frente a la práctica actual de hojas de cálculo y tableros comerciales aislados.

5.5.2 Criterios derivados

- C1 — Operación sin conexión.** El residente y el contador deben operar el aplicativo en obra y en oficina con conectividad intermitente; la sincronización debe ocurrir cuando la conectividad se restablece sin pérdida de eventos.
- C2 — Trazabilidad CD+AUI sin reificar el AUI como controlador de alcance.** El modelo expone el costo directo como única estructura que controla el alcance. El AUI se modela como porcentaje adicional sobre el costo directo. Los indicadores se calculan sobre $BAC = CD + AUI$.
- C3 — Catálogo tributario digitado por el contador.** El módulo contable permite que el contador digite manualmente los impuestos y retenciones aplicables.
- C4 — Jerarquía actas a cambios.** El modelo representa el acta modificatoria y los cambios que esa acta agrupa como entidades acopladas en relación uno a muchos (Congreso de la República de Colombia, [2007](#)).
- C5 — Historial de cambios.** Cada operación que afecte datos contractuales registra un evento con sello temporal, usuario, valor antes, valor después y justificación. El historial es de sólo adición (Congreso de la República de Colombia, [1993](#)).
- C6 — Costo de licenciamiento.** El modelo de costos debe ser sostenible para una pequeña o mediana empresa constructora.
- C7 — Control del modelo de datos.** El modelo debe ser un esquema relacional explícito modificable por el equipo del proyecto.
- C8 — Ensayos con flujo de no conformidad.** El aplicativo modela ensayo prescrito, ensayo ejecutado y no conformidad con flujo de causa raíz, plan de cierre y estado.
- C9 — Tres fechas en actas de cobro.** Cada acta registra fecha de certificación, presentación y pago. El motor aplica reglas de transición y calcula el indicador de cartera.

C10 — Modo móvil sin instalación. El residente y el interventor acceden desde dispositivos móviles sin requerir instalación de aplicación nativa ni cuenta corporativa.

5.5.3 Caracterización de la plataforma comercial

Power BI pertenece a la categoría de plataformas de inteligencia de negocio. El producto integra cuatro capas funcionales: modelado relacional, transformación con un lenguaje funcional, cálculo analítico con un lenguaje de fórmulas propietario y visualización. Se distribuye en tres modalidades —aplicación de escritorio, servicio en la nube y aplicación móvil— con identidad integrada con el directorio corporativo del proveedor. Es producto líder de mercado con ecosistema robusto y madurez probada.

5.5.4 Matriz de decisión

Tabla 5.6
Matriz de decisión entre plataforma comercial y aplicación a la medida

#	Criterio	Plataforma comercial	Aplicación a la medida	Veredicto
C1	Operación sin conexión	Cachea visualización; no soporta escritura sin conexión.	Almacenamiento local y sincronización al restablecer conectividad.	Brecha crítica
C2	Trazabilidad CD+AUI	Reglas en lenguaje propietario.	Esquema relacional con reglas en código auditado.	Brecha arquitectónica
C3	Catálogo tributario digitado	Requiere capa transaccional externa.	Atributo libre con historial integrado.	Paridad con ventaja
C4	Jerarquía actas a cambios	Modela uno a muchos; transiciones externas.	Modelo relacional con transiciones aplicadas.	Brecha arquitectónica
C5	Historial de cambios	Auditoría a nivel de servicio.	Tabla de sólo adición en el servidor.	Brecha crítica
C6	Costo de licenciamiento	Licencia recurrente por usuario.	Infraestructura propia.	Compensación
C7	Control del modelo de datos	Modelo en formato propietario.	Esquema relacional bajo control del proyecto.	Brecha arquitectónica
C8	Ensayos con no conformidad	Flujo de estados requiere lógica externa.	Tres entidades con reglas de transición.	Paridad con ventaja
C9	Tres fechas en actas	Modela columnas; sin reglas de transición.	Atributos con transiciones aplicadas.	Brecha arquitectónica
C10	Modo móvil sin instalación	Requiere aplicación instalada y cuenta corporativa.	Aplicación web progresiva accesible desde navegador móvil.	Brecha arquitectónica

5.5.5 Síntesis de la decisión

La matriz expone dos brechas críticas en la plataforma comercial —la operación sin conexión y el historial inmutable de cambios—, cinco brechas arquitectónicas —la trazabilidad CD+AUI, la jerarquía de actas modificatorias a cambios, el control del modelo de datos, las tres fechas en las actas de cobro y el modo móvil sin instalación—, dos paridades con ventaja para el aplicativo a la medida —el catálogo tributario digitado por el contador y los ensayos con flujo de no conformidad— y una compensación a favor de la plataforma comercial en el costo de licenciamiento. No hay criterio en el que la plataforma comercial muestre superioridad clara. La decisión es construir Civil_BuildFlow como aplicación a la medida.

5.5.6 Limitaciones reconocidas

L1. El comparativo es entre dos alternativas representativas, no un comparativo exhaustivo de productos. **L2.** Las tarifas específicas de licenciamiento no se transcriben; el criterio de costo de licenciamiento se evalúa cualitativamente. **L3.** La solución a la medida implica costos y riesgos propios documentados a continuación.

5.5.7 Riesgos de la decisión

RDC1. Mantenimiento posterior al fin del proyecto académico; la mitigación consiste en declarar el artefacto como prototipo y entregar el código con licencia abierta. **RDC2.** Curva de aprendizaje de la arquitectura; la mitigación es priorizar tecnologías maduras en la [sección 5.6](#). **RDC3.** Reinención de componentes ya solucionados; la mitigación es componer con bibliotecas maduras de código abierto en lugar de implementar desde cero. **RDC4.** Limitaciones de visualización avanzada frente a una plataforma comercial; la mitigación es declarar explícitamente el alcance de visualización del proyecto. **RDC5.** Dependencia de la arquitectura elegida; la mitigación es

priorizar opciones con comunidad activa y documentación abundante. **RDC6.** Cambios regulatorios en plataformas estatales; la mitigación es exponer un esquema explícito y servicios documentados que faciliten la integración futura.

5.6 Selección de la arquitectura tecnológica

Este capítulo selecciona la arquitectura tecnológica sobre la que se materializa el aplicativo. La decisión continúa la de la [sección 5.5](#) —no implementar el aplicativo sobre la plataforma comercial— y resuelve qué tipo de cliente y qué piezas concretas usar.

5.6.1 *Tipo de cliente: aplicación web progresiva*

El cliente del aplicativo se materializa como aplicación web progresiva (PWA). La decisión se justifica por dos motivos. Primero, cierra el criterio de accesibilidad móvil sin instalación: el acceso desde el navegador con instalación opcional con un clic es la modalidad que el residente y el interventor requieren. Segundo, mantiene paridad funcional o ventaja sobre los demás criterios. La alternativa de aplicación nativa exigiría instalación desde tienda con cuenta corporativa, lo que viola el criterio de modo móvil sin instalación. La alternativa híbrida combina los inconvenientes de ambas.

5.6.2 *Componentes principales*

Cliente. Se construye como aplicación web progresiva sobre la biblioteca declarativa React (Meta Platforms, Inc., [2024](#)), complementada por la biblioteca Workbox como mecanismo de implementación del trabajador de servicio para la operación sin conexión. La biblioteca de visualización es Recharts por su integración natural con React, su soporte para gráficos de tendencia y su capacidad para curvas acumuladas.

Servidor. Se construye con FastAPI (Ramírez, 2024) en Python, con Pydantic como capa de validación tipada y SQLAlchemy como mapeador objeto-relacional. La elección se justifica por el alto rendimiento asíncrono, los tipos del lenguaje con validación integrada que habilitan el control del modelo y la trazabilidad, y la generación automática de documentación de la interfaz. Las migraciones de esquema se gestionan con la herramienta canónica del ecosistema.

Bases de datos. La capa autoritativa del servidor usa SQLite (Gaffney et al., 2022; SQLite Consortium, 2024), motor embebido sin servidor adecuado al alcance del piloto y con ruta natural de migración a un motor cliente-servidor en iteraciones futuras. La capa del cliente usa IndexedDB (Becker, 2025), la interfaz estándar del navegador para almacenamiento estructurado.

Sincronización. La sincronización entre cliente y servidor opera como cola de operaciones de sólo adición en el almacenamiento del cliente. Cada operación que el residente o el contador ejecutan sin conexión se serializa como evento con identificador único, sello temporal, usuario y carga útil. Cuando la conectividad se restablece, el trabajador de servicio drena la cola contra el extremo de sincronización del servidor; el servidor valida, asigna sello temporal y persiste como evento del historial. La estrategia de resolución de conflictos es la última escritura por sello temporal del servidor para el caso de un único residente por contrato.

Historial de cambios. Se implementa como tabla de sólo adición en la base de datos del servidor con esquema explícito: identificador del evento, sello temporal del servidor, usuario, módulo, entidad afectada, valor antes, valor después, justificación obligatoria en eventos de edición y referencia al evento corregido cuando aplique. Las operaciones que llegan desde la cola del cliente se persisten sin posibilidad de modificación ni eliminación; las correcciones se hacen con un evento nuevo que referencia al anterior por identificador.

Autenticación. Se diseña como autenticación de sesión emitida por el servidor con expiración acotada y persistida en el almacenamiento del navegador. El uso de mecanismos de mayor robustez frente a riesgos de seguridad se difiere a iteraciones productivas y se declara como limitación.

Versionado de la interfaz. La interfaz del servidor se versiona desde el inicio bajo un prefijo de versión. El versionado permite que iteraciones futuras introduzcan cambios sin romper clientes que aún apunten a la versión vigente.

5.6.3 Justificación y limitación reconocida

La justificación sectorial se ancla en Einizinab et al. (2023), que documenta la inspección remota de obra como campo activo donde la captura digital con conectividad intermitente es práctica creciente, y en Hartung et al. (2010), que documenta el patrón canónico de captura de datos móvil en regiones de conectividad limitada. La limitación reconocida es que no existe trabajo de primer nivel que canonicé la combinación específica de aplicación web progresiva con seguimiento contractual de obra pública; la elección es decisión justificada por convergencia de anclas independientes.

5.6.4 Caveats por sistema operativo móvil

La aplicación web progresiva opera de manera asimétrica entre Android e iOS. El escenario primario es Android con navegador basado en Chromium: instalación automática, cuota generosa de almacenamiento del navegador y soporte de sincronización en segundo plano. El escenario secundario es iOS con Safari: cuota más estricta, instalación manual y soporte parcial o ausente de sincronización en segundo plano. Las asimetrías no invalidan el uso en iOS pero exigen documentar el procedimiento de instalación y las limitaciones operativas.

5.6.5 Riesgos de la arquitectura

RSP1. Estado de borrador de algunas especificaciones del navegador; la mitigación operativa es que las interfaces correspondientes están en producción en los navegadores principales desde hace años, por lo que el riesgo residual se asume. **RSP2.** Límites variables de almacenamiento del navegador; la mitigación es vigilancia de cuota y solicitud explícita de almacenamiento persistente, con archivos pesados subidos al servidor con identificador de referencia. **RSP3.** El trabajador de servicio requiere conexión segura; la mitigación es el uso de certificado gratuito de la autoridad correspondiente y la operación del modo sin conexión sobre el caché del navegador. **RSP4.** Conflictos de sincronización entre clientes; la mitigación es la estrategia de última escritura por sello temporal del servidor, con alerta operativa cuando el conflicto sea irresoluble. **RSP5.** Distribución sin tienda de aplicaciones; la mitigación es la entrega de la dirección por canal institucional al usuario. **RSP6.** Manipulación del historial sin conexión antes de la sincronización; la mitigación es que el servidor es la fuente de verdad y emite la secuencia esperada al inicio de sesión para detectar eliminaciones. **RSP7.** Expiración de la sesión durante un periodo sin conexión largo; la mitigación es el tiempo de vida configurable según el perfil operativo y la reautenticación al recuperar conectividad con drenado posterior de la cola.

5.6.6 Síntesis de la selección

La presente sección seleccionó la arquitectura tecnológica del aplicativo: aplicación web progresiva como tipo de cliente; React con Workbox para la presentación y la operación sin conexión; FastAPI con Pydantic y SQLAlchemy para el servidor; SQLite como capa autoritativa e IndexedDB como capa del cliente; historial de sólo adición como pieza que materializa la trazabilidad. La selección cierra el criterio de accesibilidad móvil sin instalación y mantiene paridad funcional en los criterios restantes.

5.7 Construcción del artefacto

Esta subsección describe el artefacto Civil_BuildFlow como una aplicación web progresiva organizada en diez módulos funcionales acoplados. La descripción es estructural: cómo se distribuyen las responsabilidades entre módulos y cómo fluye la información entre ellos. Las imágenes del aplicativo en funcionamiento se presentan en el [capítulo 6](#).

5.7.1 Anatomía modular

Módulo de carga. Punto de entrada de la información al aplicativo. Recibe plantillas estructuradas que el residente y el contador llenan al corte, valida formato, rango y dominio de cada celda, y produce un evento de ingesta con sello temporal y diagnóstico de validación.

Módulo de presupuesto. Modela el presupuesto del contrato con desglose por capítulo (ítems por cantidades por precios unitarios) como única estructura que controla el alcance físico. El AUI se modela como porcentaje adicional aplicado al costo directo, con descomposición interna en A/I/U como trazabilidad contable del contratista sin reducir el cupo del costo directo. Expone el presupuesto inicial, el consumo acumulado al corte y el saldo por ítem, junto al porcentaje AUI pactado y al total del contrato.

Módulo de cronograma y avance. Articula la línea base del cronograma con la captura de avances físicos al corte. Calcula los indicadores del marco *Earned Value Management* —valor planeado, valor ganado, costo real, índice de desempeño en costo, índice clásico de cronograma— y la extensión de cronograma ganado de Lipke ([2003](#)). Produce la curva~S con tres trazas y una proyección de estimación a la finalización.

Módulo de contabilidad. Persiste las seis entidades del modelo financiero ([sección 5.3](#)): contrato, acta de avance, retenciones del contrato, terceros, ingresos y egreso. Registra el ingreso reconocido contra avance certificado por la interventoría y centraliza el catálogo de terceros del

proyecto. La liquidación tributaria queda fuera del alcance del aplicativo por decisión explícita: el contador digita en la entidad de retenciones del contrato los valores liquidados de impuestos y retenciones de cada acta o egreso, que el módulo persiste con trazabilidad temporal sin recálculo.

Módulo de cambios contractuales. Estructura las modificaciones del contrato como una jerarquía de dos niveles: una acta modificatoria agrupa N cambios. Cada cambio expone su tipo —variación de cantidades (Q), variación de cronograma (T) o actividad no prevista (NP)—, su magnitud, los capítulos afectados, su justificación, su soporte técnico y su estado. La inclusión explícita del tipo T (reprogramación) habilita que el residente edite las fechas plan de las actividades desde la misma acta modificatoria, conforme al esquema descrito en la [subsección 5.7.2](#).

Módulo de cobro y anticipo. Materializa el ciclo de las actas de cobro parcial con tres fechas explícitas: certificación por la interventoría, presentación de la factura y pago efectivo. Las actas parciales no se digitan manualmente como instrumentos nuevos: el módulo las genera como salida automática consolidando los avances físicos registrados por actividad en el módulo de cronograma y avance. Si una actividad pactada por mil metros cúbicos de concreto tiene trescientos metros cúbicos ejecutados al corte, el módulo calcula el treinta por ciento de avance de la actividad y lo consolida automáticamente en el acta parcial del corte correspondiente, multiplicando el avance por el precio unitario contratado y aplicando el porcentaje AUI pactado. El residente y el interventor validan o rechazan el acta consolidada antes de su firma. El indicador de cartera se computa sobre las fechas registradas.

Módulo de calidad. Cubre el ciclo de plan de muestreo, ensayo, conformidad y no conformidad. Registra ensayos prescritos por capítulo de obra, ensayos ejecutados con resultado y conformidad, y no conformidades con causa raíz, plan de cierre y estado. Computa el porcentaje de lotes conformes y mantiene la trazabilidad a la norma técnica de referencia de cada ensayo. El catálogo de ensayos es extensible por el usuario: el administrador del contrato registra nuevas

entradas —tipo de ensayo, norma de referencia, sección normativa, frecuencia mínima, criterio de aceptación y indicador alimentado— desde el panel de administración, sin recompilación del aplicativo. La cobertura no se limita a las categorías ilustrativas de la [subsección 5.2.3](#) (concretos, aceros, suelos y asfaltos) y puede crecer hacia edificación, redes eléctricas, redes hidrosanitarias u otras tipologías según el contrato. El módulo articula con el módulo de cobro: los capítulos con no conformidad abierta se observan antes de liberar pago.

Módulo de alertas. Transforma el indicador continuo en una señal accionable. Para cada indicador del catálogo de la [sección 5.1](#) expone tres umbrales —verde, amarillo, rojo— configurables por contrato. Cada disparo de alerta emite un evento al historial de cambios y dispara una notificación dentro del aplicativo al rol responsable. El motor de reglas lee la configuración del contrato, no constantes globales, lo que permite calibrar los umbrales según el perfil de cada contrato.

Módulo de auditoría. Mantiene un historial de cada evento del aplicativo: ingesta, edición, aprobación, disparo de alerta. Cada evento registra sello temporal, usuario, módulo, entidad afectada, valor antes y después, y justificación. El historial es de sólo adición por diseño: las correcciones se realizan emitiendo un evento nuevo que referencia al anterior, no editando el histórico. Es la pieza que materializa el deber de trazabilidad documental que articulan Congreso de la República de Colombia ([1993](#)) y Contraloría General de la República ([2018](#)).

Módulo de tablero ejecutivo. Es la capa de presentación. Expone dos vistas con ergonomías distintas: la vista ejecutiva, dirigida al director y al contratante, agrega los semáforos del catálogo unificado de la [sección 5.4](#), las tendencias de la curva~S sobre el total del contrato, el reporte complementario del AUI al lado del costo directo y los contadores de cambios y no conformidades en un solo nivel sin desplazamiento vertical denso; la vista operativa, dirigida al residente, al contador y al interventor, expone detalle por capítulo del presupuesto con navegación a

ítem, tablas de actas con filtros y navegación al historial de cambios. Ambas vistas se construyen sobre las mismas tablas del servidor.

5.7.2 Reprogramación del cronograma en actas modificatorias

El modelo de cambios contractuales del módulo de actas modificatorias preserva la tipología original de tres clases —Q (cantidad), T (tiempo) y NP (no previsto)— y se extiende con dos capacidades para que el residente pueda gestionar la reprogramación del cronograma desde la misma plantilla Excel del acta:

1. La hoja de CAMBIOS —donde se editan cantidades de ítems existentes y se agregan ítems nuevos NP— gana dos columnas opcionales `fecha_inicio_plan` y `fecha_fin_plan`, que se usan únicamente en filas de tipo NP para definir el cronograma del nuevo ítem. Cuando el acta se suscribe, el sistema crea el `Item` en el presupuesto y, en la misma transacción, instancia la `Actividad` de cronograma con las fechas indicadas o con los defaults del contrato si quedaron vacías.
2. La plantilla incorpora una segunda hoja, `REPROGRAMACION`, precargada con todas las actividades del contrato y sus fechas plan vigentes. El residente sólo completa las columnas `fecha_inicio_nueva`, `fecha_fin_nueva` y `motivo` en aquellas filas que requiere mover; el sistema genera un Cambio de tipo T por cada fila modificada, registrando el `actividad_id`, las fechas anteriores y nuevas, el motivo y el impacto en plazo $\Delta T = \text{fecha_fin_nueva} - \text{fecha_fin_anterior}$.

Al suscribir el acta, la operación `apply_acta_to_budget` aplica los tres tipos de cambio en una sola pasada: las cantidades Q actualizan `Item.cantidad_pactada`, los ítems NP crean nuevos `Item` con sus actividades asociadas, y los cambios T modifican `Actividad.fecha_inicio_plan`, `Actividad.fecha_fin_plan` y `Contract.plazo_dias`,

registrando un *snapshot* de las fechas anteriores en el propio Cambio para permitir la reversión posterior si el acta se anula. La interfaz del módulo de cambios muestra los tres tipos en tablas separadas; para los cambios T, la visualización contrasta explícitamente fechas *antes* y *nuevas* y el desplazamiento de plazo en días, con coloreado semántico (ámbar si extiende, verde si reduce).

5.7.3 Flujo de datos

El flujo de información avanza por una secuencia bien definida: el residente y el contador cargan plantillas estructuradas al corte; el módulo de carga valida y estructura la información; los módulos de presupuesto, cronograma y avance, contabilidad, cambios contractuales, cobro y anticipo y calidad consumen y procesan los datos; el módulo de alertas evalúa los umbrales sobre los indicadores y dispara semáforos; el módulo de auditoría registra cada paso; y el módulo de tablero ejecutivo presenta las dos vistas al usuario final por rol contractual. La [figura 5.1](#) sintetiza visualmente este flujo.

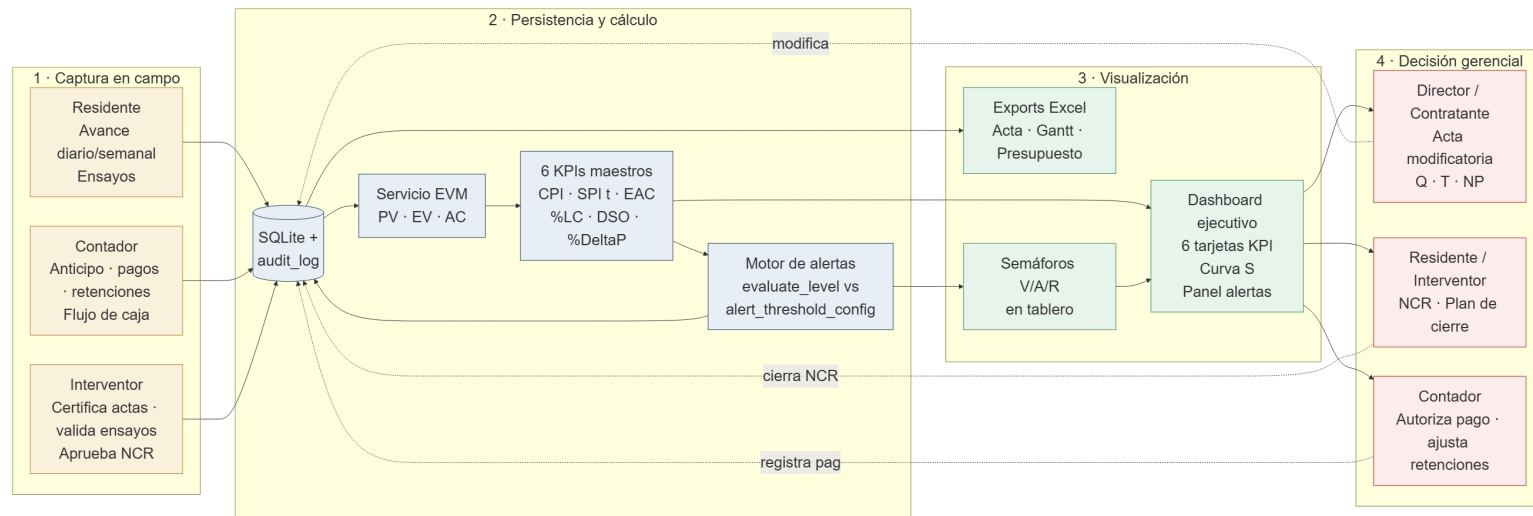


Figura 5.1

Flujo de datos del aplicativo.

Nota. Eventos de campo capturados por los roles operativos (residente, contador, interventor) alimentan los cálculos de los seis KPIs maestros y el motor de alertas; el director y contratante consumen el dashboard ejecutivo y toman decisiones que retroalimentan el modelo (actas modificatorias, autorizaciones de pago).

5.7.4 Ciclo de vida operativo del contrato

El ciclo de vida del contrato en el aplicativo se organiza en dos fases gateadas. La fase setup comprende la creación del contrato por el administrador, la asignación de usuarios y roles, el wizard de tres pasos que ejecuta el residente (parámetros, presupuesto, cronograma) y la aprobación expresa del director. La fase operativa habilita el resto de módulos (avances, actas parciales, actas modificatorias, ensayos, módulo contable, dashboard y alertas) y persiste como la fase única hasta la liquidación del contrato.

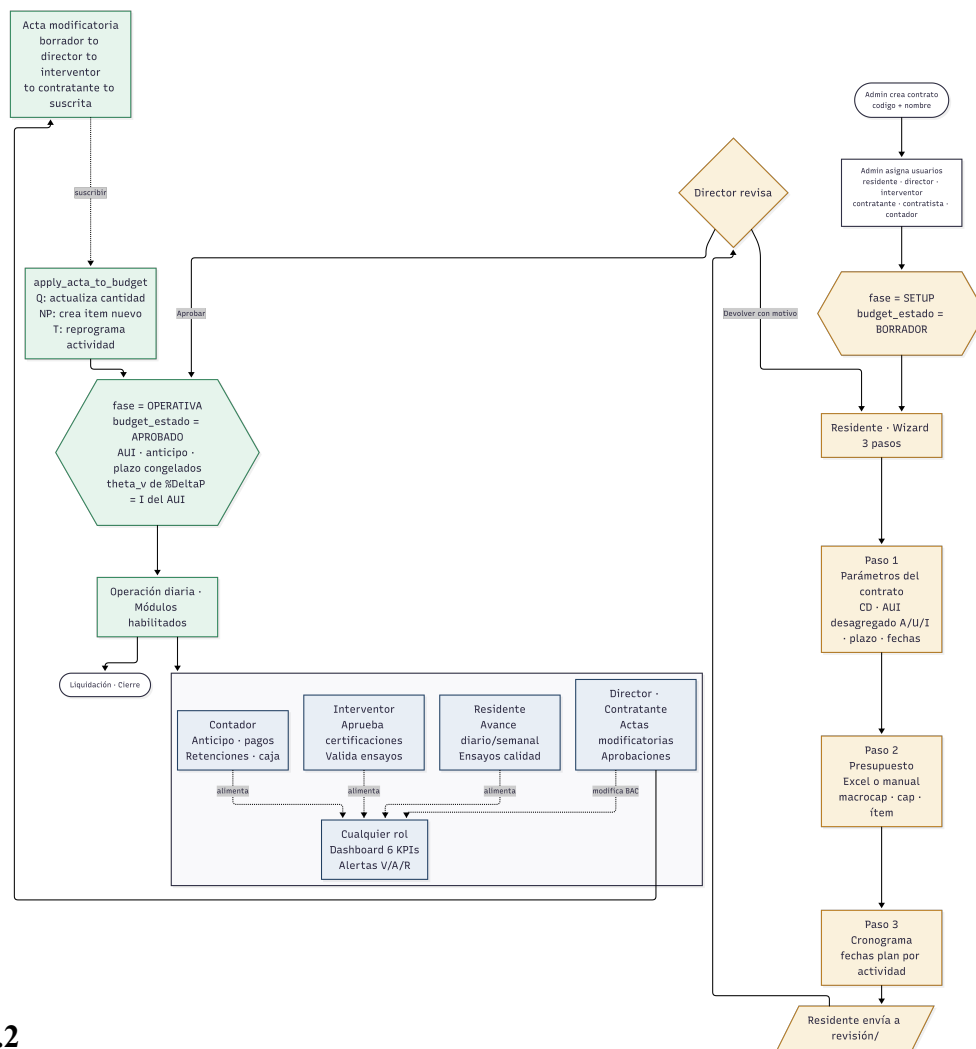


Figura 5.2

Ciclo de vida operativo del contrato en Civil_BuildFlow.

Nota. Roles que intervienen en cada fase. La fase setup gatea la interfaz operativa hasta que el director aprueba; al aprobar, el umbral verde del KPI $\% \Delta P$ se inicializa con el $\%$ de Imprevistos pactado en el AUI. En la fase operativa todos los módulos quedan habilitados y producen información que alimenta el dashboard ejecutivo con los seis KPIs maestros.

5.7.5 Arquitectura cliente-servidor

El aplicativo se materializa como aplicación web progresiva con tres capas diferenciadas: el cliente, el servidor y la base de datos. La separación responde a la decisión arquitectónica de la [sección 5.5](#) y a la selección de la [sección 5.6](#). La [figura 5.3](#) sintetiza la arquitectura técnica resultante: PWA cliente con soporte sin conexión (IndexedDB + Service Worker) que sincroniza eventos

firmados con HMAC contra una API FastAPI que persiste en SQLite con `audit_log append-only` por DDL.

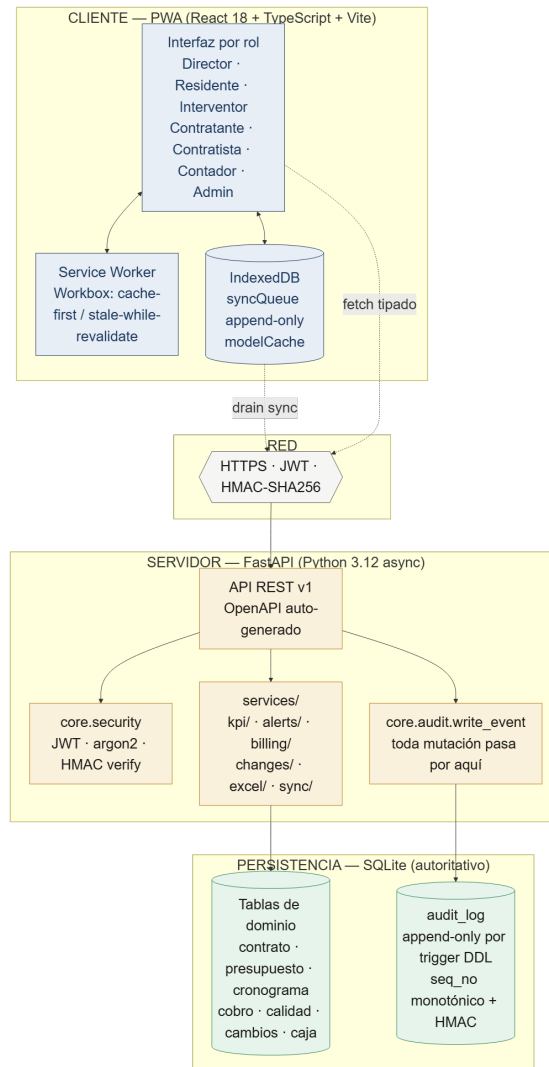


Figura 5.3

Arquitectura técnica de Civil_BuildFlow.

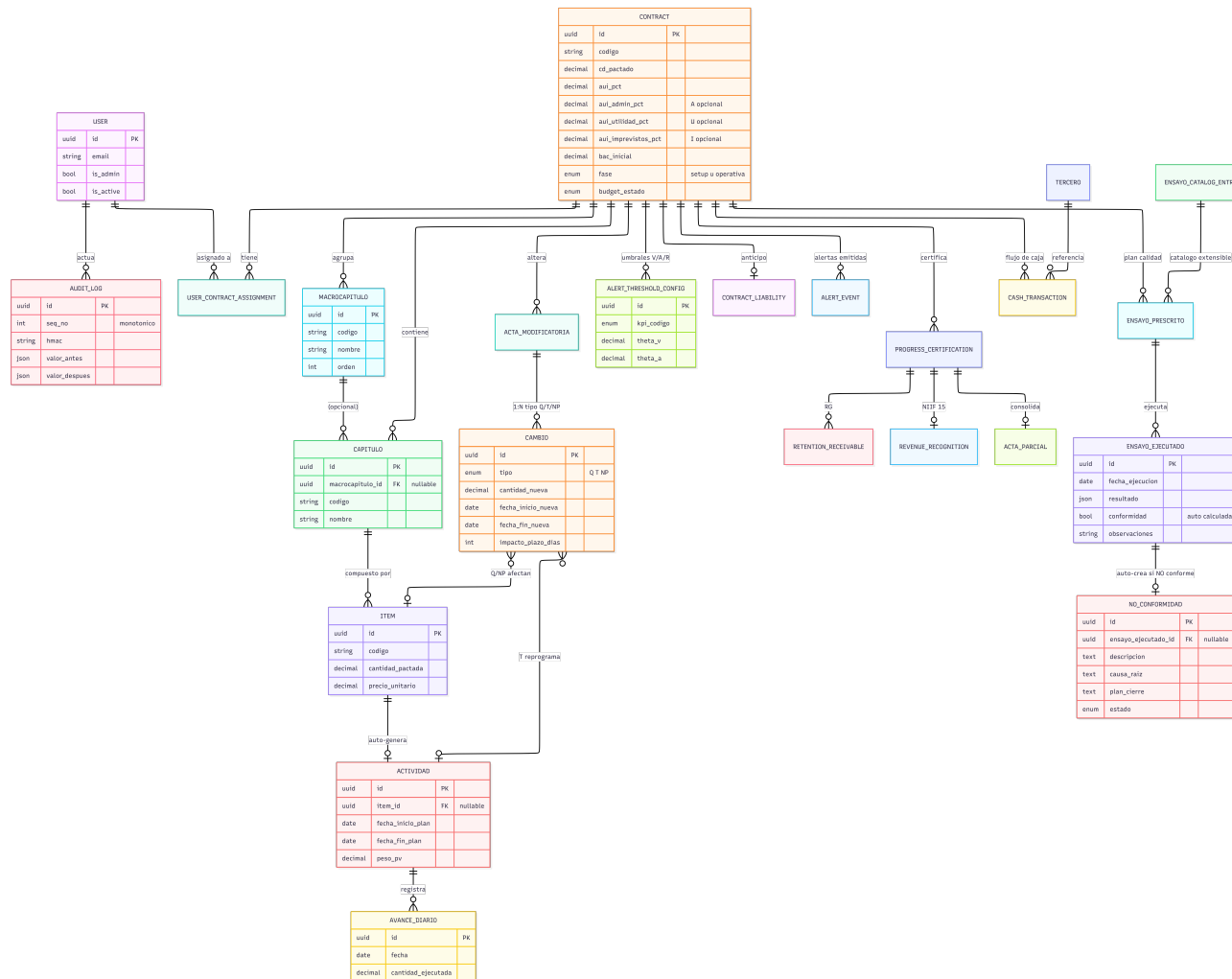
Nota. PWA cliente con soporte sin conexión sincroniza eventos firmados con HMAC contra una API FastAPI; persistencia en SQLite con `audit_log append-only` por trigger DDL.

El cliente se construye sobre una biblioteca de interfaz reactiva, opera con captura sin conexión y cola local de escritura, y expone las dos vistas del módulo de tablero ejecutivo. El

servidor expone una interfaz versionada construida sobre un marco web asíncrono, valida las solicitudes contra el modelo de datos, ejecuta las reglas de negocio y persiste los cambios. La base de datos es relacional con un mapeador objeto-relacional y un sistema de migraciones para la evolución del esquema; el modelo articula las entidades de los diez módulos con normalización alta en escritura y vistas materializadas para mantener tiempos de respuesta admisibles.

5.7.6 Modelo de datos del aplicativo

El modelo de datos del aplicativo articula las entidades persistidas en SQLite y sus relaciones de cardinalidad. La jerarquía del presupuesto —contrato → macrocapítulo (opcional) → capítulo → ítem— soporta tanto presupuestos planos como agrupados por tema, y cada ítem genera automáticamente una actividad de cronograma. La [figura 5.4](#) sintetiza las entidades principales y sus relaciones.

**Figura 5.4**

Modelo de datos del aplicativo.

Nota. Entidades persistidas en SQLite y sus relaciones de cardinalidad. La jerarquía contrato → macrocapítulo (opcional) → capítulo → ítem soporta tanto presupuestos planos como agrupados por tema; cada ítem genera automáticamente una actividad de cronograma.

El intercambio de información entre el aplicativo y el usuario se canaliza por plantillas Excel versionadas, una por entidad de carga masiva: presupuesto por capítulos e ítems, avances semanales por actividad, actas modificatorias con sus cambios y reprogramaciones, flujo de caja con auto-creación de terceros, y los exports correspondientes del acta parcial, del cronograma con avance y del presupuesto vigente. Cada plantilla es la interfaz canónica para la entidad correspondiente del modelo de datos.

5.7.7 Estructura del proyecto y entregables

El proyecto se organiza en cuatro entregables al cierre de la fase de construcción. Primero, el código fuente del cliente y del servidor, versionado en un repositorio Git. Segundo, las migraciones de base de datos versionadas, que permiten desplegar el esquema desde cero. Tercero, el manual breve de uso del aplicativo, que describe el flujo de cargue, la lectura del tablero y la interpretación de los indicadores y semáforos. Cuarto, las guías de uso por rol contractual, que documentan los flujos operativos para director, interventor, residente, contratante, contratista, contador y administrador.

Capítulo 6

Demostración con caso de estudio

6.1 Identificación del caso

A continuación se presenta el flujo de uso del aplicativo Civil_BuildFlow aplicado al caso de estudio del contrato **BR006-2025** (*Construcción de la PTAR del casco urbano de Yacuanquer, Nariño*), del sector de agua potable y saneamiento básico. El acta de inicio del contrato se suscribió el 20 de octubre de 2025 y el plazo contractual pactado es de ocho meses; al momento del trabajo de tesis el contrato se encuentra en ejecución. Cada apartado documenta una pantalla del aplicativo y la acción del rol correspondiente, en orden del ciclo de vida descrito en la [figura 5.2](#) del [capítulo 5](#). La evaluación funcional se concentra en cuatro preguntas operativas centrales para el seguimiento contractual: la facilidad del cargue de la información, la verificación de que el aplicativo resuelve la dispersión de los datos, la trazabilidad de cada cifra y la disponibilidad de alertas claras.

6.2 Acceso al aplicativo

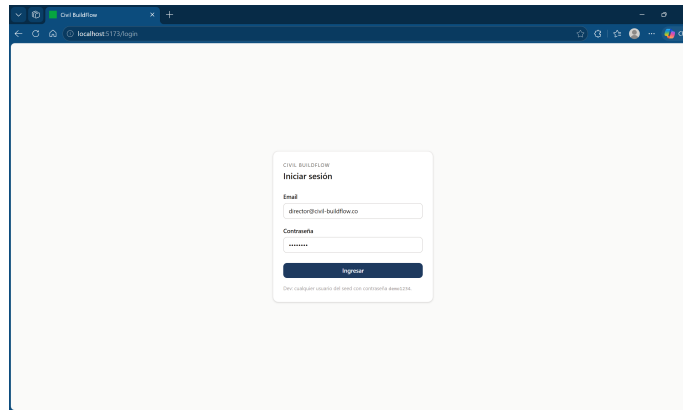


Figura 6.1 Inicio de sesión.

Pantalla de inicio de sesión. La autenticación emite un token de sesión con expiración configurable y persiste en el almacenamiento local del navegador. El control de acceso opera por rol y por contrato asignado.

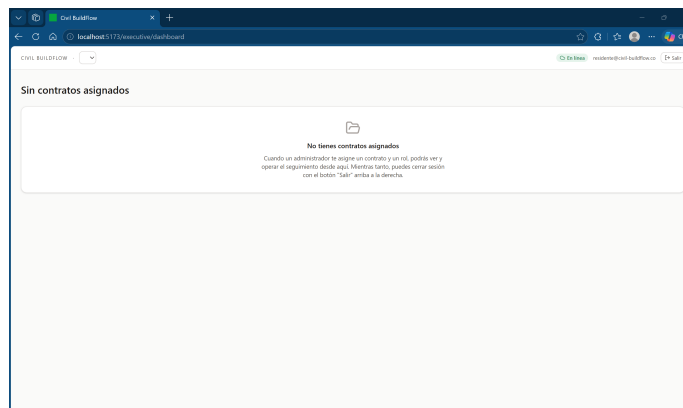


Figura 6.2 Interfaz sin proyecto asignado.

Vista del usuario recién creado sin contratos asignados. El aplicativo bloquea las pestañas operativas hasta que el administrador asigna al menos un contrato y un rol mediante la entidad `user_contract_assignment`.

6.3 Configuración administrativa de usuarios, roles y contratos

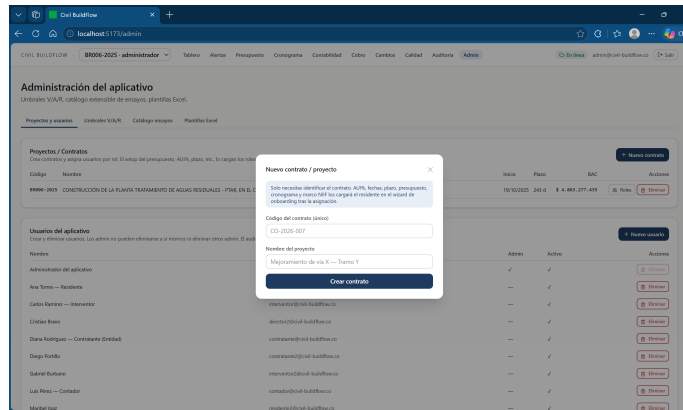


Figura 6.3

Interfaz del administrador para crear usuarios, asignar roles y registrar contratos. La asignación es de tipo N a M: un usuario puede tener varios contratos con roles distintos. Al crear el contrato se siembran automáticamente los umbrales V/A/R por defecto del catálogo de indicadores.

6.4 Cargue inicial del contrato

El residente ejecuta el cargue inicial a través de un asistente de tres pasos. El primero captura los parámetros pactados del contrato, el segundo el presupuesto desglosado por capítulo e ítem y el tercero la verificación del cronograma autogenerado desde el presupuesto.

Figura 6.4 Parámetros del contrato.

Paso 1 del asistente. El residente captura los parámetros pactados: costo directo, AUI desagregado en Administración, Utilidad e Imprevistos, fecha de inicio y plazo. El BAC inicial se calcula automáticamente como $CD \cdot (1 + \alpha)$ con $\alpha = A + U + I$; el componente I se aplicará como umbral verde del indicador $\% \Delta P$ al aprobar el setup.

Código	Descripción	Cantidad	Unidad	PU	Subtotal
1.01.01	Excavación a Máquina en material común 0-m-2.00-m	2,802.25	m3	\$ 11,760	\$ 33,043,895
1.01.02	Excavación a Máquina en material común 2.01-m-4.00-m	1,098.98	m3	\$ 14,127	\$ 15,777,847
MOVIMIENTO DE TIERRAS					\$ 48,821,743
ALCANTARILLADO					\$ 871,887,078
PRELIMINARES					\$ 2,009,340
ENCANTONADOS					\$ 79,553,149

Figura 6.5 Cargue del presupuesto.

Paso 2 del asistente. Cargue del presupuesto a través de la plantilla Excel o creación manual. La jerarquía soporta macrocapítulos opcionales (subsección 5.3.3). Cada ítem genera automáticamente una actividad de cronograma con peso PV proporcional a su subtotal sobre el CD total.

Actividad	Cost plan	Unidad	Precio	Inicio plan	Fin plan
Escavación a máquina en material común 0-H < 2.00 m	2,492,20	m3	8,448	15/07/2026	15/08/2026
Escavación a máquina en material común 2.0-H < 4.00 m	1,389,88	m3	8,538	15/07/2026	30/07/2026
Limpieza y relleno de terreno	978	m2	8,495	20/10/2025	20/06/2026
Construcción de Camperito	9	U	8,898	01/08/2026	15/01/2027
Escavación manual en material común 0-H < 2.00 m	1,488,43	m3	8,708	20/10/2025	20/06/2026
Escavación manual en material común 2.00-H < 3.00 m	477,48	m3	8,578	20/10/2025	20/06/2026
Escavación manual en material común 3.00-H < 4.00 m	38,38	m3	8,818	20/10/2025	20/06/2026
Escavación manual en material común 4.00-H < 5.00 m	7	m3	8,818	20/10/2025	20/06/2026
Escavación manual en material conglomerado 0-H < 2.00 m	88	m3	8,878	20/10/2025	20/06/2026
Escavación manual en material conglomerado 2.00-H < 3.00 m	54	m3	8,958	20/10/2025	20/06/2026
Escavación manual en material conglomerado 3.00-H < 4.00 m	98	m3	8,958	20/10/2025	20/06/2026

Figura 6.6 Verificación del cronograma.

Paso 3 del asistente. Verificación y ajuste de las fechas plan de las actividades autogeneradas desde el presupuesto. El residente puede redistribuir el horizonte temporal por actividad antes de enviar al director.

6.5 Revisión y aprobación del setup por el director

Revisión del setup inicial

El residente envió el setup para su revisión. Pueden editar cualquier dato antes de aprobar, o devolver con motivo.

Nota del residente al enviar
residente@civil-build.com - 21/07/2026, 10:14:43 p. m.
Setup inicial cargado, listo para revisión del director.

Parámetros pactados
AUI % del contrato firmado: 0.12 pactado en cálculo a partir del presupuesto del paso 1 (suma de subítems de ítem). El anticipo y las retenciones se registran después de aprobado el setup, no aquí.

AUI % del contrato firmado: 0.12

Fecha de inicio: 20/10/2025

Fecha fin del contrato: 20/06/2026

Plazo de ejecución: 200 días

CD pactado (suma ítem) = \$ 1,748,002,482 BAC = CD (1+0) = \$ 4,863,277,405

Ajustes / nota

Cargar inicial del contrato firmado.

Guardar parámetros

Devolver al residente **Aprobar y enviar contrato**

Figura 6.7

El director revisa el setup completo y elige entre aprobar —el contrato pasa a fase operativa, se congelan AUI, anticipo y plazo, y el umbral verde de $\% \Delta P$ se inicializa con el porcentaje de Imprevistos pactado— o devolver con motivo, en cuyo caso el residente recibe el feedback como banner en el asistente.

6.6 Operación cotidiana del residente

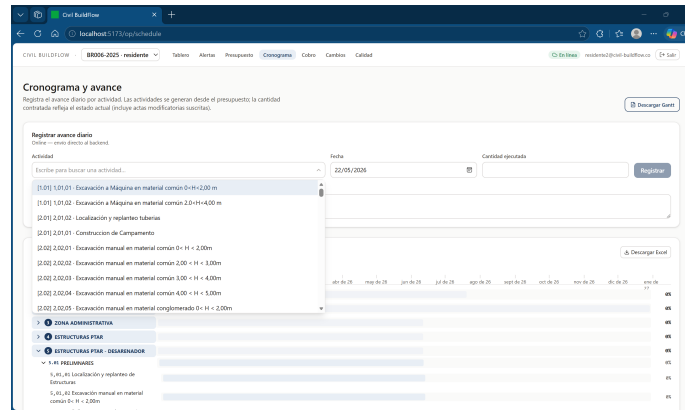


Figura 6.8 Registro diario de actividades y diagrama de Gantt.

Módulo de cronograma en fase operativa. El residente registra el avance individualmente o usa la plantilla semanal de carga masiva por porcentaje de avance por celda actividad-semana. El sistema convierte el porcentaje a cantidad ejecutada y persiste un *AvanceDiario*. El Gantt visual colorea cada capítulo y macrocapítulo en verde cuando alcanzan el 100%.

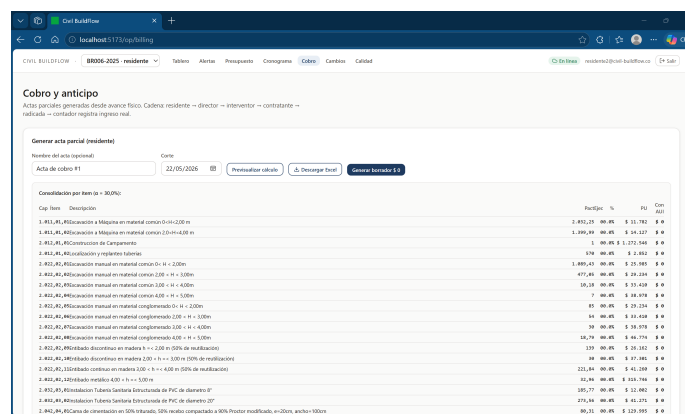


Figura 6.9 Generar, descargar y proyectar actas de cobro parciales

Generación automática de actas parciales de cobro. El sistema consolida los avances físicos por actividad al corte indicado y aplica $\text{cantidad} \times \text{PU} \times (1 + \alpha)$ menos la amortización del anticipo. El residente puede previsualizar, descargar y proyectar el borrador antes de enviarlo a la cadena de aprobación.

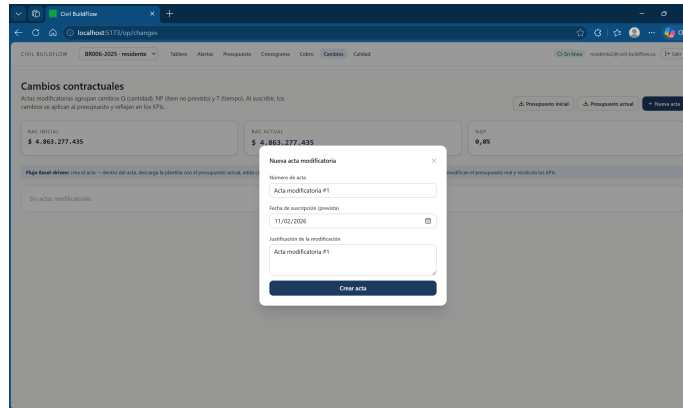


Figura 6.10 Ingreso de actas modificatorias.

Creación de una nueva acta modificatoria. El residente documenta la justificación y la fecha de suscripción; los cambios concretos (Q, T, NP) se cargan después por Excel o manualmente desde la misma acta.

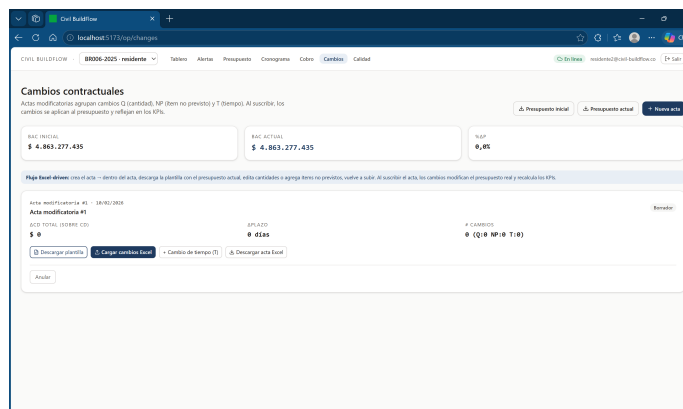


Figura 6.11 Descarga, modificación y cargue de cambios al acta modificatoria.

Cargue masivo de cambios al acta vía Excel ([subsección 5.7.2](#)). La plantilla tiene dos hojas: CAMBIOS (cantidades de ítems existentes y nuevos ítems no previstos) y REPROGRAMACION (fechas plan nuevas por actividad). El sistema clasifica automáticamente cada fila como cambio Q, NP o T y registra el impacto presupuestal y de plazo.

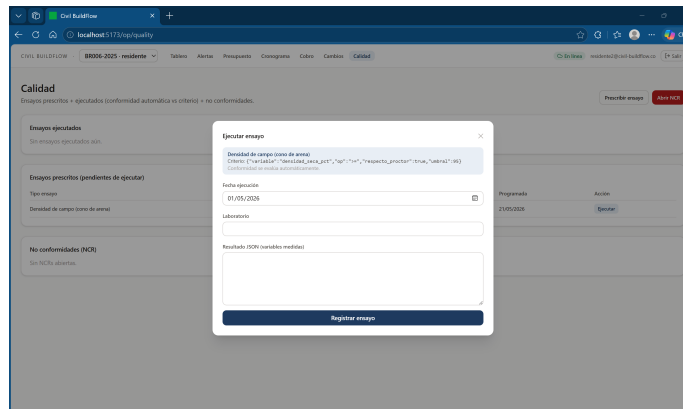


Figura 6.12 Registro de ensayos de calidad.

Registro de un ensayo ejecutado. El residente o interventor ingresa el valor numérico obtenido del laboratorio; el sistema lo compara con el criterio de aceptación del catálogo y marca la conformidad automáticamente. Si el ensayo es no conforme, se crea además una NCR vinculada con descripción prellenada para registrar causa raíz y plan de cierre ([subsección 5.2.6](#)).

6.7 Cadenas de aprobación

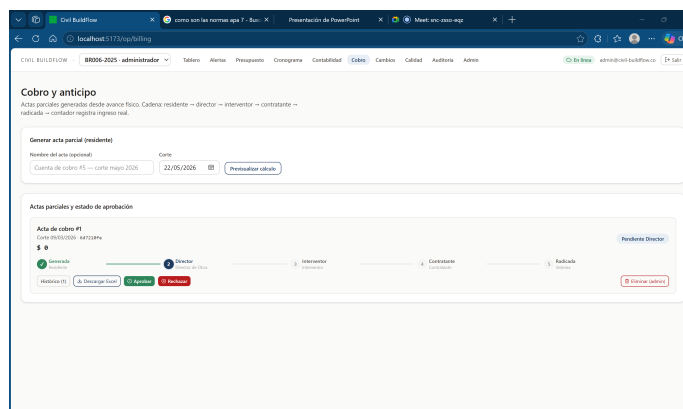


Figura 6.13 Panel de aprobación de actas de cobro.

Panel de aprobación del acta parcial. La cadena es residente → director → interventor → contratante → radicada. Al radicarse se crean las entidades asociadas (progress_certification, registro de retenciones tributarias del contrato y movimientos contables) en una sola transacción auditada.

Cambios contractuales

Actas modificatorias agrupan cambios Q (cantidad), NP (item no previsto) y T (tiempo). Al suscribir, los cambios se aplican al presupuesto y reflejan en los KPIs.

BAC INICIAL: \$ 4,863,277.435 BAC ACTUAL: \$ 4,863,277.435 NP: 8,8%

Paga nivel ahora: crea el acta → dentro del acta, descarga la plantilla con el presupuesto actual, edita cantidades o agrega items no previstos, vuelve a subir. Al suscribir el acta, los cambios modifican el presupuesto real y modulan los KPIs.

ACTA INDEFINIDA: 41 - 80/10/2024

Acta modificatoria de mayores y menores cantidades de obra, para adaptar el proyecto a las condiciones reales encontradas en obra, se presenta un rubro estructural por subdimensionamiento para tener un uso mas eficiente de los recursos y no afectar a la ejecución del alcance del proyecto.

Buena

BAC TOTAL USUARIO: 0 APLICADO: 0 \$/día Δ CANTIDAD: 136 (Q:132 NP:14 T:0)

[Descargar plantilla](#) [Cargar cambios local](#) [Cambios de tiempo \(T\)](#) [Descargar acta final](#)

Tipo	Capítulo	Item	Descripción	Unidad	Cant. orig	Cant. nuevo	PU	ΔCantidad	ΔCosto
Q	---	---	Variación de cantidad de 1.01.001	---	2,802,28	3,884,82	\$ 11,782	+1,082,57	+12,829,129
Q	---	---	Variación de cantidad de 1.01.002	---	5,399,94	2,899,49	\$ 14,127	-2,500,45	-35,229,289
Q	---	---	Variación de cantidad de 1.01.002	---	0	889,27	\$ 2,882	+889,27	+2,550,886
Q	---	---	Variación de cantidad de 2.02.001	---	5,889,43	957,48	\$ 15,985	-4,931,95	-78,428,773
Q	---	---	Variación de cantidad de 2.02.002	---	477,85	456,23	\$ 12,234	-21,62	-268,949
Q	---	---	Variación de cantidad de 2.02.003	---	84,18	313,94	\$ 31,618	+231,76	+7,381,233
Q	---	---	Variación de cantidad de 2.02.004	---	7	29,79	\$ 18,978	+22,79	+429,874
Q	---	---	Variación de cantidad de 2.02.005	---	85	141,1	\$ 12,234	+56,1	+6,851,713
Q	---	---	Variación de cantidad de 2.02.006	---	84	90,84	\$ 31,618	+6,84	+218,959
Q	---	---	Variación de cantidad de 2.02.007	---	18	17,8	\$ 18,978	-0,2	-3,729,398

Figura 6.14 *Panel de cargue y aprobación de actas de cambios contractuales. Cadena de aprobación del acta modificatoria. Cada eslabón registra fecha, usuario, rol, acción (approve o reject) y justificación. La suscripción dispara `apply_acta_to_budget`, que actualiza atómicamente cantidades, fechas y crea ítems NP nuevos con sus actividades de cronograma asociadas.*

6.8 Operación del contador — módulo contable

The screenshot shows a web application interface for accounting. A modal window titled "Registrar desembolso del anticipo" is open. It contains the following fields and values:

- Como % del contrato:** 20
- Como valor absoluto (COP):** 22/05/2025
- Porcentaje del BAC total (%):** 20
- Fecha de desembolso:** 22/05/2025
- BAC total del contrato:** \$ 4.485.397.487
- Anticipo registrado:** 20 del 445.447 = \$ 972.655.487
- Nota:** Cada año se amortizará automáticamente (20.00%) de su valor hasta agotar el anticipo.
- Buscar entidad contratante:** [dropdown menu]
- Comprobante / orden de pago:** COP-2025-001
- RETENCIONES QUE LA ENTIDAD DESCONTO DEL ANTICIPO (OPCIONAL):** [dropdown menu]
- Valor total del anticipo:** \$ 972.655.487
- Ingreso a registrar en caja:** \$ 972.655.487
- Buttons:** "Registrar anticipo", "Configurar auto manual"

Figura 6.15 Registro del anticipo.

El contador registra el desembolso del anticipo contractualmente pactado. La acción crea simultáneamente un `CashTransaction` de tipo `ingreso_anticipo` y un `ContractLiability` que controla el saldo vivo y la amortización prevista por acta.

The screenshot shows a web application interface for accounting. A modal window titled "Procesar pago — acta corte 2025-03-10" is open. It contains the following fields and values:

- Fecha en que se hizo el pago:** 08/04/2025
- RETENCIONES APLICADAS (SOLO LAS QUE APARECEN EN EL COMPROBANTE):**
 - Estampilla por universalidad: 10000000
 - Contribución especial: 50000000
 - IVA descontado: [dropdown menu]
 - Retención en la fuente: [dropdown menu]
 - Retención de ICA: [dropdown menu]
 - Estampilla por cultura: [dropdown menu]
 - Estampilla por hospital: [dropdown menu]
 - Estampilla departamental: [dropdown menu]
- DESGLOSE DEL PAGO (EN VIVO):**
 - Valor del acta a presentar a la entidad: \$ 0
 - Estampilla por universalidad: -\$ 10.000.000
 - Contribución especial: -\$ 50.000.000
 - Total retenciones: -\$ 60.000.000
 - Ingreso a registrar en caja: -\$ 60.000.000
- Buttons:** "Registrar pago", "Configurar auto manual"

Figura 6.16 Registro de pagos de actas suscritas.

Procesamiento del pago de un acta parcial radicada. El contador digita manualmente las retenciones aplicadas (IVA, ICA, estampillas, retención en la fuente); el aplicativo nunca calcula tributos automáticamente. El neto se convierte en un `CashTransaction` de tipo `ingreso_acta_net` y se registra la amortización proporcional del anticipo.

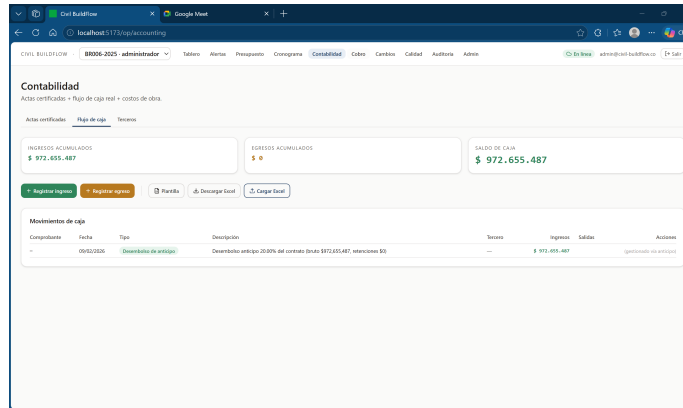


Figura 6.17 Cargue de egresos e ingresos adicionales a las actas.
Módulo de flujo de caja del contador. Permite registrar movimientos adicionales a los generados automáticamente por actas y anticipo: préstamos, dividendos, costos directos e indirectos, egresos tributarios y otros. Soporta carga masiva por plantilla Excel con autocreación de terceros desconocidos.

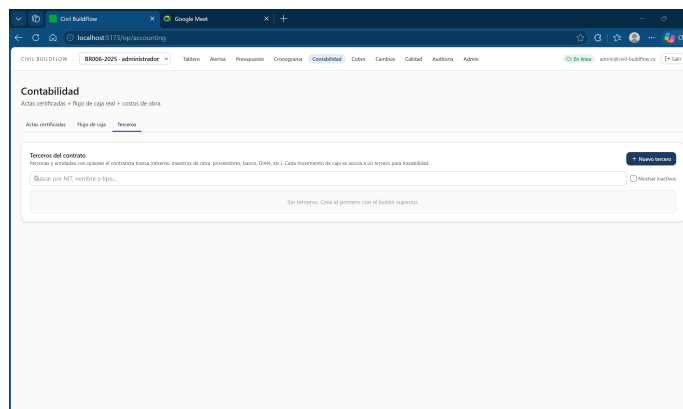
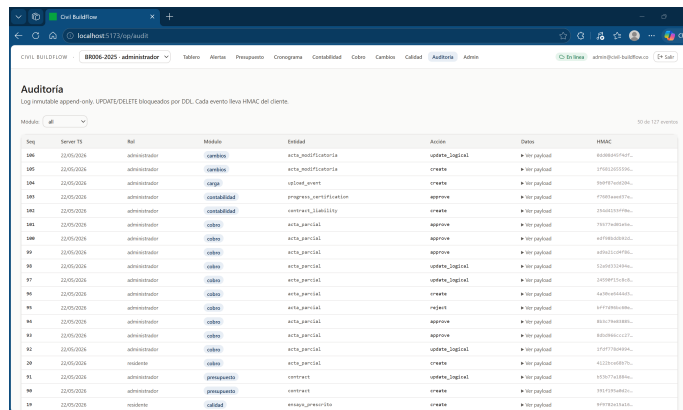


Figura 6.18 Creación de terceros.
Panel del contador para creación y administración del catálogo canónico de terceros (NIT, nombre, tipo) usado por todos los movimientos de caja. Centraliza la información tributaria y evita duplicados.

6.9 Supervisión y control de cambios contractuales



The screenshot shows the 'Auditoria' (Audit) module. It displays a table of audit events with columns: Seq, Fecha TS, Rol, Modulo, Entidad, Accion, Datos, and HSAC. The table lists various actions like 'create', 'update', and 'delete' for different modules and entities. A legend at the top indicates that the table shows only updates and deletes, excluding events from the client's HSAC.

Seq	Fecha TS	Rol	Modulo	Entidad	Accion	Datos	HSAC
100	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_POSTFISCATORIA	update_inicializa		Ver payload
101	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_POSTFISCATORIA	create		Ver payload
102	22/05/2024	administrador	Segu	ACTA_POSTFISCATORIA	create		Ver payload
103	22/05/2024	administrador	Contratos	Contratos_Permitacion	update		Ver payload
104	22/05/2024	administrador	Contratos	Contratos_Permitacion	create		Ver payload
105	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
106	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
107	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
108	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
109	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
110	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
111	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
112	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
113	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
114	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
115	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
116	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
117	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
118	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
119	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
120	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
121	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
122	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
123	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
124	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
125	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
126	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
127	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
128	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
129	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload
130	22/05/2024	administrador	Contratos	ACTA_PERMISO	update		Ver payload

Figura 6.19

Vista del director o contratante para el seguimiento contractual estricto y transparente. Cada acta se visualiza con sus cambios desagregados por tipo (Q, T, NP), el impacto acumulado en presupuesto (ΔCD) y plazo (ΔT), y el histórico completo de aprobaciones con justificaciones, lo que provee trazabilidad total para auditoría por contraloría.

6.10 Dashboard ejecutivo con los seis KPIs maestros

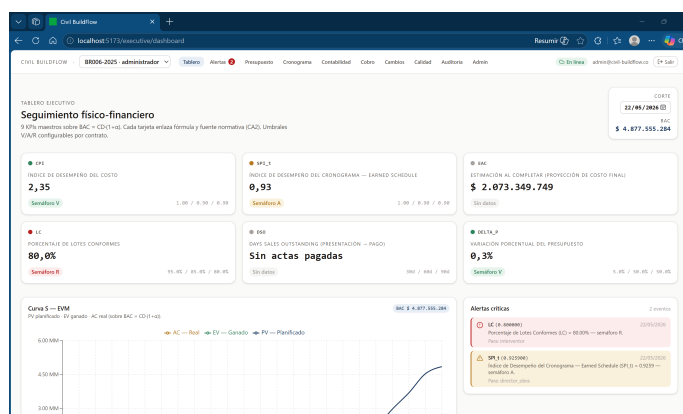


Figura 6.20 Tarjetas de KPIs con semáforo V/A/R.

Tablero ejecutivo interactivo. Cada una de las seis tarjetas muestra el valor del KPI al corte seleccionado, su semáforo V/A/R, los umbrales configurados y un tooltip con la fórmula y la fuente normativa. Las alertas amarillas y rojas se persisten automáticamente como *AlertEvent* para construir un histórico auditable.

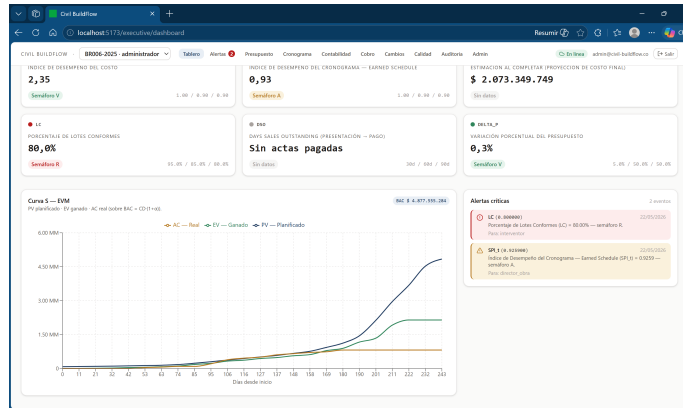


Figura 6.21 Curva S del proyecto.

Curva S del proyecto en el mismo tablero ejecutivo. Las tres trazas (PV planificado, EV ejecutado, AC costo real) permiten leer visualmente la posición del contrato respecto a la línea base y anticipar desviaciones antes de que se materialicen en los KPIs numéricos.

6.11 Veredicto de los criterios de aceptación

Criterio CA1 (prueba funcional del cargue y la operación). El veredicto se verifica observando que el aplicativo cargó la totalidad de la información del caso BR006-2025 sin errores de validación, produjo los seis indicadores del catálogo de la [sección 5.4](#) con valores plausibles para el corte cargado, generó las actas parciales automáticas a partir de los avances físicos consolidados, registró las aprobaciones de los usuarios por rol y mantuvo la trazabilidad fórmula-norma documentada en cada vista. El registro de la prueba se evidencia en las figuras de las secciones anteriores.

Criterio CA2 (trazabilidad fórmula-norma). El veredicto se verifica por inspección documental del catálogo de la [sección 5.4](#): el cien por ciento de los indicadores enlaza a una fuente normativa o académica con identificador verificable.

Criterio CA3 (disparo de alertas según umbrales configurados). El veredicto verifica que las alertas del aplicativo se disparan en concordancia con los umbrales configurados por contrato ([tabla 5.5](#)) y que el panel de alertas refleja la severidad y la priorización esperadas para el corte del caso.

6.12 Síntesis

El recorrido por las veinte pantallas del aplicativo sobre el caso real BR006-2025 aporta evidencia funcional sobre los tres criterios de aceptación: prueba operativa del aplicativo (CA1), trazabilidad documental del catálogo (CA2) y verificación del comportamiento del motor de alertas (CA3). La narrativa por rol —residente, director, interventor, contratante, contador y supervisor— documenta el flujo completo del seguimiento contractual desde el acceso al aplicativo hasta el dashboard ejecutivo. La quinta actividad —evaluación por encuesta a profesionales del sector— se desarrolla en el [capítulo 7](#).

Capítulo 7

Evaluación por encuesta

Este capítulo presenta la evaluación funcional del aplicativo Civil_BuildFlow mediante encuesta a profesionales del sector de la contratación de obra pública en Colombia. La evaluación materializa la quinta actividad del paradigma *Design Science Research* —la actividad de evaluación—, que en la operacionalización de Peffers et al. (2007) sigue a la demostración del artefacto y precede a la actividad de comunicación. El alcance del trabajo de grado se limita explícitamente a la evaluación funcional del aplicativo construido y no incluye su implementación institucional en una entidad beneficiaria ni su operación productiva sostenida: la implementación queda como agenda de trabajo futuro.

7.1 Propósito y alcance

La evaluación responde a una pregunta de diseño y no a una pregunta de impacto. La pregunta de diseño es si el aplicativo satisface las expectativas operativas de los profesionales que ejercen la dirección y la gerencia de contratos de obra pública en Colombia. La pregunta de impacto —si la adopción del aplicativo modifica la oportunidad de detección de desviaciones, la trazabilidad de las decisiones documentadas o la productividad de los actores— excede el alcance de la Maestría y queda como agenda en el [capítulo 8](#).

La evaluación se estructura como paso de la metodología *Design Science Research*, no como estudio cuantitativo con inferencia poblacional. La selección de participantes es intencional —profesionales afines al dominio de la contratación de obra pública— y el tamaño muestral se acota a un mínimo viable para soportar análisis cualitativo formativo. La evaluación combi-

na cinco dimensiones cuantitativas en escala de Likert con tres preguntas abiertas que recogen la percepción directiva sobre ventaja competitiva, oportunidades de mejora y viabilidad de adopción del aplicativo en los contratos que los participantes dirigen o supervisan.

7.2 Diseño del instrumento

7.2.1 Cuestionario propio basado en escala de Likert

El instrumento aplicado es un cuestionario propio diseñado para esta evaluación. La elección de un cuestionario propio frente a la adopción literal de un instrumento canónico —por ejemplo, los diez ítems de la *System Usability Scale* de Brooke o las escalas estándar del *Technology Acceptance Model* de Davis— responde a la necesidad de evaluar dimensiones específicas del dominio del seguimiento contractual que ningún instrumento general captura sin adaptación sustancial: la centralización de la información dispersa, el control bajo el marco *Earned Value Management*, el apoyo a la toma de decisiones mediante alertas automatizadas, la usabilidad de la interfaz para gerentes y la auditoría documental del contrato.

El cuestionario consta de cinco preguntas cuantitativas con escala de Likert de cinco puntos —donde uno es desacuerdo total y cinco es acuerdo total— y tres preguntas abiertas que recogen la percepción cualitativa del participante. Las cinco dimensiones cuantitativas se enuncian a continuación con la redacción exacta presentada al participante.

- P1. Centralización.** La integración de la información, en línea y fuera de línea, en un único aplicativo reduce la carga administrativa.
- P2. Control EVM.** Visualizar los índices de desempeño en costo y en cronograma facilita decisiones oportunas.
- P3. Toma de decisiones.** Las alertas automatizadas mitigan riesgos operativos.
- P4. Usabilidad.** La interfaz es intuitiva para gerentes sin conocimientos técnicos.

P5. Auditoría. El aplicativo funciona como una única fuente de verdad confiable.

Las tres preguntas abiertas indagan la ventaja competitiva percibida frente a las herramientas de seguimiento tradicionales de la organización del participante, las oportunidades de mejora orientadas al control de costo, tiempo y calidad de la obra y la viabilidad de adoptar la solución en los contratos de ingeniería que el participante dirige o supervisa con justificación breve.

7.2.2 Perfil de los participantes

El instrumento se aplicó a profesionales afines a la contratación de obras públicas en Colombia con experiencia mínima de un año gerenciando proyectos de infraestructura. La distribución de la muestra por años de experiencia en dirección de proyectos de infraestructura pública se presenta en la [tabla 7.1](#).

Tabla 7.1

Distribución de los veintiún respondientes por tramo de años de experiencia en dirección de proyectos de infraestructura pública

Años de experiencia	Respondientes	Participación
1 a 5 años	4	19,0 %
6 a 10 años	7	33,3 %
11 a 15 años	5	23,8 %
Más de 15 años	5	23,8 %
Total	21	100,0 %

El tramo de seis a diez años concentra la mayor participación con siete respondientes; los tramos de once a quince años y de más de quince años aportan cinco respondientes cada uno. El cincuenta y siete por ciento de la muestra corresponde a perfiles con más de diez años de experiencia directiva, lo que aporta peso a la percepción experta sobre la utilidad del aplicativo en escenarios reales de contratación pública.

7.3 Protocolo de aplicación

El protocolo de evaluación se ejecutó en dos fases acopladas. La primera fase fue el lanzamiento del aplicativo como prueba abierta a los profesionales seleccionados: cada participante recibió acceso al aplicativo desplegado y un caso reducido del caso de estudio del [capítulo 6](#) cargado, con la consigna de operar el aplicativo durante un tiempo prudencial sobre la práctica de sus propios contratos. El periodo de prueba permitió que cada participante explorara las funcionalidades del aplicativo en escenarios reales de su rol directivo —cargue de información, lectura de tablero, generación de actas, gestión de cambios, consulta del historial— y formara una percepción informada antes de responder el instrumento.

La segunda fase fue la aplicación del cuestionario, ejecutada el 21 de mayo de 2026 sobre el universo de profesionales que completaron la prueba. La captura fue anónima y se ejecutó en una sesión continua. El instrumento se entregó a los veintiún profesionales que cumplieron el criterio de inclusión —experiencia mínima de un año gerenciando proyectos de infraestructura— y la totalidad de la muestra respondió.

7.4 Resultados de la encuesta

7.4.1 Puntaje por dimensión

La [tabla 7.2](#) reporta el promedio aritmético de cada dimensión sobre los veintiún respondientes. El promedio global de las cinco dimensiones es 4,45 sobre 5, equivalente al 89 % del puntaje máximo de la escala. Todas las dimensiones individuales superan el puntaje de 4,0 sobre 5, lo que indica acuerdo o acuerdo fuerte de la totalidad de la muestra.

La dimensión con puntaje más alto es la de toma de decisiones, asociada a la utilidad percibida de las alertas automatizadas para mitigar riesgos operativos. Las dimensiones de centralización y control EVM siguen muy de cerca, las tres por encima de 4,5 sobre 5. Las dimensiones de

Tabla 7.2

Promedio por dimensión sobre los veintiún respondientes, escala de Likert de cinco puntos

Dimensión	Promedio	Porcentaje del máximo
Toma de decisiones (alertas)	4,62	92,4 %
Centralización de la información	4,57	91,4 %
Control EVM (CPI/SPI)	4,52	90,5 %
Usabilidad de la interfaz	4,29	85,7 %
Auditoría como única fuente de verdad	4,24	84,8 %
Promedio global	4,45	89,0 %

usabilidad y auditoría obtienen los puntajes más bajos pero permanecen por encima de 4,0 sobre 5, lo que indica que los participantes consideran la interfaz intuitiva y reconocen el aplicativo como fuente de verdad confiable, aunque con menor consenso que las tres dimensiones de utilidad pura.

7.4.2 Observaciones cualitativas

Las observaciones cualitativas recogen el contenido textual de las tres preguntas abiertas del instrumento.

Ventaja competitiva. Los respondientes coincidieron en la centralización de la información como diferenciador principal frente a las herramientas tradicionales, expresada con variantes como “única fuente de verdad”, “en tiempo real”, “elimina los silos donde el residente, el presupuestador y planeación manejan versiones distintas del proyecto” y “elimina cadenas de correos y mensajes informales”. La detección temprana de desviaciones presupuestales, la accesibilidad móvil para el personal de campo, la operación sin conexión en zonas sin cobertura y la integración entre costos y tiempo bajo una misma plataforma —tradicionalmente manejados en silos separados— aparecieron como ventajas adicionales recurrentes en la muestra.

Oportunidades de mejora. Las sugerencias del rol directivo se agruparon en cinco categorías. La primera es la integración con sistemas de planificación de recursos empresariales y software contable corporativo para vincular el avance físico de la obra con el flujo de caja y la facturación. La segunda es la firma digital certificada que dé validez legal a las aprobaciones registradas en el aplicativo y permita reemplazar la bitácora física de obra. La tercera es la incorporación de funcionalidades operativas adicionales: control de inventarios de almacén, gestión de maquinaria con horas-máquina reales frente a planificadas, rendimiento de mano de obra con asistencia cruzada y registro meteorológico para justificar retrasos por lluvias. La cuarta es la integración con el modelado de información de la construcción y la exportación a tableros corporativos. La quinta es la extensión del módulo de calidad con análisis de causa raíz por cuadrilla, dossier de calidad automático y microcapacitación normativa preventiva del personal antes de tareas críticas.

Viabilidad de adopción. La totalidad de los veintiún respondientes —100 %— consideró viable implementar la solución tecnológica en los contratos de ingeniería que dirige o supervisa. Las justificaciones espontáneas convergieron en cinco argumentos: la eliminación de la discrepancia entre el avance técnico y el reporte financiero, la optimización de los comités de obra semanales al disponer de datos objetivos, la reducción de las horas administrativas del residente, la estandarización del flujo de información de la compañía y el reconocimiento de la digitalización como inminente en la ingeniería civil colombiana. Ningún respondiente reportó objeciones materiales a la adopción ni manifestó preferencia por mantener las herramientas tradicionales.

7.5 Discusión de los resultados

La discusión articula los resultados con las variables observables enunciadas en la [sección 1.5](#). La variable de claridad de interpretación y facilidad de lectura ejecutiva se respalda con el pro-

medio global de 4,45 sobre 5 —equivalente al 89 % del puntaje máximo— y con el promedio de la dimensión de usabilidad de 4,29 sobre 5, por encima del acuerdo consensual. La variable de utilidad percibida se respalda con los promedios de las dimensiones de centralización, control EVM y toma de decisiones, las tres por encima de 4,5 sobre 5. La variable de cobertura funcional del catálogo se respalda con la convergencia perceptual sobre la pertinencia de las dimensiones evaluadas y con la ausencia de reportes de vacío crítico en las observaciones cualitativas. La variable de apoyo a la decisión se respalda con el puntaje más alto de la muestra —4,62 sobre 5 para la dimensión de alertas— y con la convergencia cualitativa sobre la detección temprana de desviaciones como diferenciador. La variable de reducción percibida del tiempo de análisis y de la dispersión de la información se respalda con la convergencia cualitativa sobre la centralización como única fuente de verdad y sobre la eliminación de la comunicación informal entre los actores del contrato. La hipótesis de diseño se considera respaldada por las cinco variables sobre las que el instrumento aporta evidencia.

7.6 Limitaciones de la evaluación

Tamaño muestral. La evaluación es cualitativa y formativa con veintiún respondientes; el tamaño muestral no busca inferencia estadística generalizable y se acota al perfil objetivo de profesionales con experiencia directiva en contratación de obra pública. **Sesgo de selección.** Los participantes son profesionales accesibles a los autores; el sesgo se mitiga buscando diversidad de tramos de experiencia y la inclusión del cincuenta y siete por ciento de la muestra con más de diez años de experiencia directiva. **Sesgo de novedad.** El primer encuentro con un aplicativo nuevo puede sesgar la percepción al alza por entusiasmo o a la baja por desconocimiento; el periodo de prueba previo al cuestionario mitiga parcialmente el efecto al permitir que el participante opere el aplicativo en escenarios reales antes de responder. **Cuestionario propio.** El instrumento no es

un cuestionario canónico validado psicométricamente; la elección se justifica por la necesidad de evaluar dimensiones específicas del dominio del seguimiento contractual que ningún instrumento general captura sin adaptación. La validez se respalda con la formulación directa de las preguntas y con la convergencia entre dimensiones cuantitativas y respuestas abiertas.

7.7 Síntesis

La evaluación funcional aporta evidencia cuantitativa y cualitativa que respalda la hipótesis de diseño del trabajo. El promedio global de 4,45 sobre 5 —equivalente al 89 % del puntaje máximo de la escala— sobre veintiún respondientes con perfil directivo en contratación de obra pública, el reconocimiento unánime de la viabilidad de adopción y la convergencia cualitativa sobre la centralización como diferenciador documentan la utilidad percibida del aplicativo. La integración con la prueba funcional del [capítulo 6](#) responde la pregunta de diseño del trabajo. La pregunta de impacto sobre la práctica del seguimiento contractual y la implementación institucional del aplicativo quedan como agenda de trabajo futuro en el [capítulo 8](#).

Capítulo 8

Conclusiones y recomendaciones

Este capítulo cierra el trabajo articulando cinco conclusiones —una por cada objetivo específico y dos sobre el éxito del proyecto— y un bloque de recomendaciones derivadas de los resultados de la encuesta del [capítulo 7](#) y de las observaciones recogidas durante el desarrollo del aplicativo.

8.1 Conclusiones

8.1.1 Conclusión sobre el OE1 — Modelo de datos para seguimiento

El primer objetivo específico —definir el modelo de datos para el seguimiento contractual— se cumplió con la formulación de un esquema relacional único persistido en SQLite con `audit_log` de sólo adición por trigger DDL, que articula las entidades de las cinco familias de información operativas (presupuesto con jerarquía macrocapítulo → capítulo → ítem, cronograma con línea base y avances diarios, contabilidad con seis entidades acopladas, cambios contractuales con jerarquía actas a cambios y registros de calidad con catálogo extensible de ensayos). El modelo se validó al cargar el caso de estudio del contrato BR006-2025 (PTAR de Yacuanquer, Nariño) sin errores de validación; el cargue cubrió presupuesto, cronograma, ensayos, actas de cobro con tres fechas, actas modificatorias con sus cambios desagregados y movimientos de caja con catálogo de terceros, conforme al criterio de aceptación CA1.

8.1.2 Conclusión sobre el OE2 — Indicadores clave y visualizaciones

El segundo objetivo específico —proponer indicadores clave de desempeño y visualizaciones asociadas— se cumplió con la construcción del catálogo de seis indicadores maestros (CPI,

SPI(t), EAC, %LC, DSO, % ΔP) seleccionados bajo metodología SMART, con fórmula explícita, unidad, orientación, umbrales por defecto y fuente normativa o académica con identificador verificable para cada uno. Las tres visualizaciones nominadas en el enunciado del objetivo —Curva~S de avance acumulado con tres trazas, semáforos por indicador y series de tendencia temporal— quedaron materializadas en el dashboard ejecutivo del aplicativo. La trazabilidad fórmula-norma del cien por ciento del catálogo satisface el criterio de aceptación CA2.

8.1.3 Conclusión sobre el OE3 — Dashboard, alertas y validación

El tercer objetivo específico —desarrollar el dashboard con vistas ejecutivas y operativas, reglas de alerta y guía de uso, y validarlo— se cumplió con la construcción del aplicativo Civil_BuildFlow como aplicación web progresiva con dos ergonomías diferenciadas (vista ejecutiva para director y contratante, vistas operativas por rol para residente, interventor, contador y contratista), un motor de alertas que lee la configuración por contrato de la tabla `alert_threshold_config` y un manual de usuario por rol. La validación se materializó en dos niveles complementarios: la prueba funcional del aplicativo sobre el caso BR006-2025 documentada en el [capítulo 6](#), que verificó el disparo correcto de las alertas según los umbrales configurados (criterio CA3); y la evaluación funcional por encuesta a veintiún profesionales con experiencia directiva en obra pública del [capítulo 7](#).

8.1.4 Conclusión sobre el éxito del proyecto: validación de la hipótesis de diseño

La hipótesis de diseño enunciada en la [sección 1.5](#) del [capítulo 1](#) —que un tablero interactivo de inteligencia de negocio para el seguimiento contractual de obra pública en Colombia, con vistas diferenciadas por rol, catálogo trazable de indicadores, motor de alertas con umbrales configurables y operación con conectividad intermitente, permite a los actores del contrato disponer de decisiones de seguimiento más oportunas, consistentes y trazables que el conjunto de herramientas

que hoy ocupan ese espacio funcional— se considera respaldada en el plano de la *funcionalidad* y la *utilidad percibida*. La prueba funcional sobre el caso de estudio documentó el funcionamiento del aplicativo conforme a los tres criterios de aceptación CA1, CA2 y CA3, y la encuesta a profesionales del sector arrojó un promedio global de 4,45 sobre 5 en las cinco dimensiones evaluadas, equivalente al 89 % del puntaje máximo, con todas las dimensiones por encima del acuerdo consensual. La *cuantificación de mejoras efectivas* sobre la práctica del seguimiento —reducción de tiempos de cierre, disminución de errores, oportunidad de detección de desviaciones— requeriría implementación institucional del aplicativo, medición longitudinal y comparación contra una línea base previa; este alcance excede el trabajo de grado y se enuncia como recomendación de trabajo futuro en la [sección 8.3](#).

8.1.5 Conclusión sobre el éxito del proyecto: viabilidad de adopción

La totalidad de los veintiún respondientes de la encuesta —100 %— consideró viable implementar la solución tecnológica en los contratos de ingeniería que dirige o supervisa, sin que ningún respondiente reportara objeciones materiales a la adopción. Las justificaciones espontáneas convergieron en cinco argumentos: la eliminación de la discrepancia entre el avance técnico y el reporte financiero, la optimización de los comités de obra al disponer de datos objetivos, la reducción de las horas administrativas del residente, la estandarización del flujo de información de la compañía y el reconocimiento de la digitalización como inminente en la ingeniería civil colombiana. La viabilidad reconocida por el rol directivo confirma que el aplicativo no es sólo un artefacto académico funcional, sino un instrumento útil al ejercicio profesional de la dirección y la interventoría de obra pública.

8.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que siguen integran las oportunidades de mejora reportadas por los respondientes de la encuesta a profesionales del sector.

Integración con sistemas empresariales. Los respondientes señalaron como prioridad la integración con sistemas de planificación de recursos empresariales y software contable corporativo (SAP, Siigo u otros) para vincular el avance físico de la obra con el flujo de caja y la facturación de la compañía contratista. Se recomienda diseñar en una iteración futura conectores de exportación e importación que permitan la sincronización bidireccional con los sistemas contables más usados en el sector.

Firma digital certificada. Varios respondientes condicionaron la confianza en el historial de aprobaciones a la incorporación de firma digital con validez legal, que permitiría reemplazar la bitácora física de obra y dar fuerza probatoria a las aprobaciones registradas en el aplicativo. Se recomienda integrar un proveedor de firma digital certificada acreditado por la entidad certificadora competente en una versión productiva del aplicativo.

Funcionalidades operativas adicionales. Los respondientes sugirieron incorporar módulos complementarios al ciclo cubierto por el aplicativo: control de inventarios de almacén con conciliación contra cantidades ejecutadas, gestión de maquinaria con horas-máquina reales frente a planificadas, rendimiento de mano de obra con asistencia cruzada con avance ejecutado, registro meteorológico para justificar retrasos por lluvias, dossier de calidad automático por capítulo y microcapacitación normativa preventiva del personal antes de tareas críticas. Se recomienda priorizar estos módulos en función de la frecuencia de la demanda en futuros pilotos.

Integración con BIM y exportación a tableros corporativos. Una proporción significativa de los respondientes con experiencia mayor a diez años solicitó vincular el avance físico del aplicativo con metodologías de modelado de información de la construcción y permitir la exporta-

ción estructurada hacia tableros corporativos. Se recomienda diseñar un módulo de exportación a formatos abiertos compatibles con Power BI corporativo y abrir la capa de datos a integraciones con herramientas BIM.

8.3 Limitaciones y trabajo futuro

Limitaciones. La validación se ejecutó sobre un único caso de estudio del sector de agua potable y saneamiento básico, lo que limita la generalización a otros tipos de obra y a otros regímenes contractuales. La evaluación funcional fue cualitativa con veintiún respondientes y no buscó inferencia estadística generalizable. La implementación institucional del aplicativo en una entidad contratante o en una empresa contratista excede el alcance de la Maestría.

Trabajo futuro. El trabajo abre cuatro líneas principales. La primera —y la más relevante para superar la distinción entre validación de funcionalidad y cuantificación de mejoras señalada en la [subsección 8.1.4](#)— es la *implementación institucional* del aplicativo en una empresa contratista o entidad contratante con medición longitudinal de indicadores antes y después de la adopción, lo que permitiría cuantificar el impacto efectivo sobre tiempos de cierre, errores de reporte, oportunidad de detección de desviaciones y reducción de horas administrativas. La segunda es la extensión del catálogo y de los módulos a regímenes contractuales adyacentes —concesiones de cuarta generación, asociaciones público-privadas, contratos de consultoría—. La tercera es la integración con plataformas oficiales del Estado (Sistema Electrónico para la Contratación Pública y Registro Nacional de Obras Civiles Inconclusas). La cuarta es la incorporación de las funcionalidades complementarias señaladas por los respondientes en la [sección 8.2](#) (integración con sistemas empresariales, firma digital certificada, módulos operativos adicionales, integración con BIM).

Referencias

- Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente. (2018). Guía para el ejercicio de las funciones de supervisión e interventoría de los contratos del Estado (G-EFSICE-02). Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.colombiacompra.gov.co/manuales-guias-y-pliegos-tipo/manuales-y-guias>
- Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente. (2024a). Concepto C-212 de 2024 — Estructura del precio en contratos por precios unitarios y AIU. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://relatoria.colombiacompra.gov.co/>
- Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente. (2024b). Concepto C-449 de 2024 — Distinción entre anticipo y pago anticipado. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://relatoria.colombiacompra.gov.co/>
- Agencia Nacional de Contratación Pública — Colombia Compra Eficiente. (2024c). Sistema Electrónico para la Contratación Pública (SECOP). Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.colombiacompra.gov.co/secop>
- Aljohani, A., Ahiaga-Dagbui, D., & Moore, D. (2017). Construction Projects Cost Overrun: What Does the Literature Tell Us? *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 8(2), 137-143. <https://doi.org/10.18178/ijimt.2017.8.2.717>
- Anbari, F. T. (2003). Earned Value Project Management Method and Extensions. *Project Management Journal*, 34(4), 12-23. <https://doi.org/10.1177/875697280303400403>
- Aramali, V., Gibson Jr., G. E., El Asmar, M., & Sanboskani, H. (2023). Novel Maturity Model for Earned Value Management Systems Implementation in Construction. *Journal of Cons-*

- truction Engineering and Management*, 149(3). <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-12519>
- Aslam, M., Baffoe-Twum, E., & Saleem, F. (2019). Design Changes in Construction Projects — Causes and Impact on the Cost. *Civil Engineering Journal*, 5(7), 1647-1655. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091360>
- Autodesk. (2024). *Autodesk Construction Cloud: Connected Construction Management Platform*. Autodesk, Inc. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://construction.autodesk.com/>
- Becker, S. (2025). *Indexed Database API 3.0* [W3C Working Draft, 13 de agosto de 2025. Tercera edición del estándar IndexedDB; define una API para base de datos cliente-side basada en estructuras B-tree persistentes, que sucede a la Recomendación 2018]. World Wide Web Consortium (W3C). Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.w3.org/TR/2025/WD-IndexedDB-3-20250813/>
- Brooke, J. (1996). SUS: A ‘Quick and Dirty’ Usability Scale [Instrumento original de la System Usability Scale: cuestionario de 10 ítems con escala Likert de 5 puntos que produce un puntaje agregado entre 0 y 100. Umbral de aceptabilidad promedio reportado por la literatura posterior en torno a 68.]. En P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & I. L. McClelland (Eds.), *Usability Evaluation in Industry* (pp. 189-194). Taylor & Francis. Consultado 8 de mayo de 2026, desde <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/9781498710411/usability-evaluation-industry-patrick-jordan-bruce-thomas-bernard-weerdmeester-mcclelland>
- Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2024). Balance 2023 — Perspectivas 2024. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://infraestructura.org.co/balance-2023-perspectivas-2024/>

- Cantarelli, C. C., Flyvbjerg, B., van Wee, B., & Molin, E. J. E. (2010). Lock-in and Its Influence on the Project Performance of Large-Scale Transportation Infrastructure Projects. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(5), 792-807. <https://doi.org/10.1068/b36017>
- Cavallo, E. A., Powell, A., & Serebrisky, T. (Eds.). (2020). *From Structures to Services: The Path to Better Infrastructure in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0002506>
- Congreso de la República de Colombia. (1993). Ley 80 de 1993, Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=304>
- Congreso de la República de Colombia. (2007). Ley 1150 de 2007, por medio de la cual se introducen medidas para la eficiencia y la transparencia en la Ley 80 de 1993. Consultado 28 de abril de 2026, desde http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1150_2007.html
- Congreso de la República de Colombia. (2011, julio). Ley 1474 de 2011 — Estatuto Anticorrupción [Artículo 92 sobre obras complementarias en contratación pública.]. Consultado 22 de mayo de 2026, desde http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1474_2011.html
- Congreso de la República de Colombia. (2020). Ley 2020 de 2020, por medio de la cual se crea el Registro Nacional de Obras Civiles Inconclusas. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=135349>
- Contraloría General de la República. (2018). Guía de Auditoría de Cumplimiento — Resolución Reglamentaria Orgánica No. 022 de 2018. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.contraloria.gov.co/>

Contraloría General de la República. (2024). Registro Nacional de Obras Civiles Inconclusas.

Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.contraloria.gov.co/web/registro-de-obras-inconclusas>

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology [Artículo seminal del Technology Acceptance Model (TAM). Define las dos escalas centrales: utilidad percibida (perceived usefulness) y facilidad de uso percibida (perceived ease of use), y las vincula con la intención de uso de un sistema de información.]. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>

De Marco, A., & Narbaev, T. (2013). Earned Value-Based Performance Monitoring of Facility Construction Projects. *Journal of Facilities Management*, 11(1), 69-80. <https://doi.org/10.1108/14725961311301475>

Departamento Nacional de Planeación. (2024). Plataforma Integrada de Inversión Pública (PIIP). Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.dnp.gov.co/>

Departamento Nacional de Planeación. (2025). Sinergia — Sistema Nacional de Evaluación de Gestión y Resultados. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://sinergia.dnp.gov.co/>

Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management's Goals and Objectives [Formulación canónica del marco SMART (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound) para objetivos gerenciales.]. *Management Review*, 70(11), 35-36. Consultado 8 de mayo de 2026, desde <https://community.mis.temple.edu/mis0855002fall2015/files/2015/10/S.M.A.R.T-Way-Management-Review.pdf>

Eckerson, W. W. (2010). *Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business* (2.^a ed.). John Wiley & Sons.

Einizinab, S., Khoshelham, K., Winter, S., Christopher, P., Fang, Y., Windholz, E., Radanovic, M., & Hu, S. (2023). Enabling Technologies for Remote and Virtual Inspection of Build-

- ding Work. *Automation in Construction*, 156, 105096. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105096>
- Few, S. (2006). *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data*. O'Reilly Media.
- Few, S. (2013). *Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring* (2.^a ed.). Analytics Press.
- Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2010). *Earned Value Project Management* (4.^a ed.). Project Management Institute.
- Flyvbjerg, B. (2014). What You Should Know About Megaprojects and Why: An Overview. *Project Management Journal*, 45(2), 6-19. <https://doi.org/10.1002/pmj.21409>
- Flyvbjerg, B., Holm, M. K. S., & Buhl, S. L. (2002). Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie? *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279-295. <https://doi.org/10.1080/01944360208976273>
- Gaffney, K. P., Prammer, M., Brasfield, L., Hipp, D. R., Kennedy, D., & Patel, J. M. (2022). SQ-Lite: Past, Present, and Future. *Proceedings of the VLDB Endowment*, 15(12), 3535-3547. <https://doi.org/10.14778/3554821.3554842>
- Gregor, S., & Hevner, A. R. (2013). Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337-355. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01>
- Hartung, C., Lerer, A., Anokwa, Y., Tseng, C., Brunette, W., & Borriello, G. (2010). Open Data Kit: Tools to Build Information Services for Developing Regions. *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Information and Communication Technologies and Development (ICTD '10)*. <https://doi.org/10.1145/2369220.2369236>

- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75-105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Huang, Y., Shi, Q., Zuo, J., Pena-Mora, F., & Chen, J. (2021). Research Status and Challenges of Data-Driven Construction Project Management in the Big Data Context. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 6674980. <https://doi.org/10.1155/2021/6674980>
- Hwang, B.-G., Zhao, X., & Goh, K. J. (2014). Investigating the Client-Related Rework in Building Projects: The Case of Singapore. *International Journal of Project Management*, 32(4), 698-708. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.08.009>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2013). *NTC 1032:2013 — Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión* (3.^a ed.). ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-ingenieria-civil-y-arquitectura-metodo-de-ensayo-para-la-determinacion-del-contenido-de-aire-en-el-concreto-fresco-metodo-de-presion-ntc1032-2013.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2015). *NTC-ISO 9001:2015 — Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos*. ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2018a). *NTC 174:2018 — Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto* (6.^a ed.). ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-concretos-especificaciones-de-los-agregados-para-concreto-ntc174-2018.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2018b). *NTC 77:2018 — Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*. ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://>

tienda.icontec.org/gp-concretos-metodo-de-ensayo-para-el-analisis-por-tamizado-de-los-agregados-finos-y-gruesos-ntc77-2018.html

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2020). *NTC 550:2020*

— *Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo.*

ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-concretos-elaboracion-y-curado-de-especimenes-de-concreto-en-el-sitio-de-trabajo-ntc550-2020.html>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2021a). *NTC 1377:2021*

— *Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio.*

ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-concretos-elaboracion-y-curado-de-especimenes-de-concreto-para-ensayos-en-el-laboratorio-ntc1377-2021.html>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2021b). *NTC 673:2021*

— *Concretos. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto* (5.^a ed.).

ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026,

desde <https://tienda.icontec.org/gp-concretos-metodo-de-ensayo-de-resistencia-a-la-compresion-de-especimenes-cilindricos-de-concreto-ntc673-2021.html>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2022a). *NTC 220:2022*

— *Cementos. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico a la compresión, usando cubos de 50 mm o 2 pulgadas de lado* (9.^a ed.).

ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-cementos-determinacion-de-la-resistencia-de-morteros-de-cemento-hidraulico-a-la-compresion-usando-cubos-de-50-mm-o-2-pulgadas-de-lado-ntc220-2022.html>

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2022b). *NTC 454:2022 — Concreto fresco. Toma de muestras*. ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-concreto-fresco-toma-de-muestras-ntc454-2022.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2023). *NTC 121:2023 — Especificación de desempeño para cemento hidráulico*. ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-especificacion-de-desempeno-para-cemento-hidraulico-ntc121-2023.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2024). *NTC 396:2024 — Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. ICONTEC. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-metodo-de-ensayo-para-determinar-el-asentamiento-del-concreto-ntc396-2024.html>
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2022a). *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras* [Adoptadas mediante Resolución 4561 del 29 de noviembre de 2022]. INVÍAS. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/4570-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-2022>
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2022b). *Manual de Interventoría de Obra Pública* [Adoptado mediante Resolución 319 del 7 de febrero de 2022, actualizado por Resolución 970 de 2024]. INVÍAS. Bogotá, Colombia. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.invias.gov.co/>
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2022c). Resolución 319 de 2022 — Especificaciones generales de construcción de carreteras [Adopción de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS.]. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://>

[//www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/especificaciones-generales-de-construccion](https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/especificaciones-generales-de-construccion)

Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2024). Resolución 970 de 2024 — Actualización de las especificaciones técnicas [Actualización parcial de las especificaciones técnicas vigentes del INVÍAS.]. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://www.invias.gov.co/>

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements*. ISO. Geneva, Switzerland. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.iso.org/standard/62085.html>

International Organization for Standardization. (2020). *ISO 21502:2020 Project, programme and portfolio management — Guidance on project management*. ISO. Geneva, Switzerland. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.iso.org/standard/74947.html>

International Organization for Standardization. (2021). *ISO 21500:2021 Project, programme and portfolio management — Context and concepts*. ISO. Geneva, Switzerland. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.iso.org/standard/75704.html>

Islam, R., Nepal, M. P., Skitmore, M., & Kabir, G. (2021). A Knowledge-Based Expert System to Assess Non-Conformities in the Building Sector Construction Supply Chain. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 35(1), 04020141. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001540](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001540)

Kenley, R. (2003). *Financing Construction: Cash Flows and Cash Farming*. Spon Press / Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203467398>

Lipke, W. (2003). Schedule is Different [College of Performance Management, Spring 2003]. *The Measurable News*, 31-34. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.earnedschedule.com/Docs/Schedule%5C%20Is%5C%20Different.pdf>

- Love, P. E. D., Smith, J., Ackermann, F., Irani, Z., & Teo, P. (2018). The Costs of Rework: Insights from Construction and Opportunities for Learning. *Production Planning & Control*, 29(13), 1082-1095. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1513177>
- McKinsey Global Institute. (2017). *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity* (inf. téc.). McKinsey & Company. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>
- Meta Platforms, Inc. (2024). React — The library for web and native user interfaces [Documentación oficial de React mantenida por Meta. Biblioteca JavaScript para construir interfaces de usuario mediante componentes reutilizables; sucesora de legacy.reactjs.org]. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://react.dev/>
- Microsoft Corporation. (2024). *Microsoft Power BI: Business Analytics Platform*. Microsoft Corporation. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://powerbi.microsoft.com/>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 [Reglamento colombiano vigente para diseño y construcción sismorresistente.]. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-vivienda/reglamento-nsr-10>
- Olawale, Y. A., & Sun, M. (2010). Cost and Time Control of Construction Projects: Inhibiting Factors and Mitigating Measures in Practice. *Construction Management and Economics*, 28(5), 509-526. <https://doi.org/10.1080/01446191003674519>
- Oracle Corporation. (2024a). *Oracle Aconex: Construction Project Controls and Collaboration*. Oracle Corporation. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://www.oracle.com/construction-engineering/aconex-project-controls/>

- Oracle Corporation. (2024b). *Oracle Primavera P6 Enterprise Project Portfolio Management*.
Oracle Corporation. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://www.oracle.com/construction-engineering/primavera-p6/>
- Parmenter, D. (2015). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs* (3.^a ed.) [Marco operativo para la selección y despliegue de KPIs en organizaciones; distinción entre KRI, RI, PI y KPI.]. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119019855>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45-77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1082 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Planeación Nacional. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77653>
- Proaño-Narváez, M., Flores-Vázquez, C., Vázquez Quiroz, P., & Avila-Calle, M.-A. (2022). Earned Value Method (EVM) for Construction Projects: Current Application and Future Projections. *Buildings*, 12(3), 301. <https://doi.org/10.3390/buildings12030301>
- Procore Technologies. (2024). *Procore Construction Management Platform*. Procore Technologies, Inc. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://www.procore.com/>
- Procuraduría General de la Nación. (2024). Objetivos y funciones. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.procuraduria.gov.co/portal/Objetivos-y-funciones.page>
- Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and the Standard for Project Management* (7.^a ed.).
- Ramírez, S. (2024). FastAPI — Modern, fast (high-performance) web framework for building APIs with Python [Framework Python de alto rendimiento para construcción de APIs

- basado en type hints estándar. Compatible con OpenAPI y JSON Schema. Licencia MIT. Dependencias internas: Starlette y Pydantic]. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://fastapi.tiangolo.com/>
- Rodrigues, F., Alves, A. D., & Matos, R. (2022). Construction Management Supported by BIM and a Business Intelligence Tool. *Energies*, 15(9), 3412. <https://doi.org/10.3390/en15093412>
- Rumane, A. R. (2017). *Quality Management in Construction Projects* (2.^a ed.). CRC Press / Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781315098425>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers* (3.^a ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Salesforce. (2024). *Tableau: Business Intelligence and Analytics Software*. Salesforce, Inc. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://www.tableau.com/>
- Sambasivan, M., & Soon, Y. W. (2007). Causes and Effects of Delays in Malaysian Construction Industry. *International Journal of Project Management*, 25(5), 517-526. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.007>
- SAP SE. (2024). *SAP S/4HANA: Intelligent ERP Suite*. SAP SE. Consultado 22 de mayo de 2026, desde <https://www.sap.com/products/erp/s4hana.html>
- Serebrisky, T., Suárez-Alemán, A., Pastor, C., & Wohlhueter, A. (2018). *Lifting the Veil on Infrastructure Investment Data in Latin America and the Caribbean* (inf. téc.). Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0001011>
- SQLite Consortium. (2024). About SQLite [Sitio oficial de SQLite. Motor SQL transaccional embebido, in-process, sin servidor y sin configuración. Código en dominio público; equipo

- internacional de mantenimiento; soporte profesional vía SQLite Consortium]. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.sqlite.org/about.html>
- United Nations Development Programme. (2024). Sustainable Development Goals. Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- United Nations General Assembly. (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1). Consultado 28 de abril de 2026, desde <https://digitallibrary.un.org/record/3923923>
- Yeoh, W., & Popovič, A. (2016). Extending the Understanding of Critical Success Factors for Implementing Business Intelligence Systems. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(1), 134-147. <https://doi.org/10.1002/asi.23366>
- Yigitbasioglu, O. M., & Velcu, O. (2012). A Review of Dashboards in Performance Management: Implications for Design and Research. *International Journal of Accounting Information Systems*, 13(1), 41-59. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2011.08.002>
- Zuleta-Castellano, H. R., Sanabria-Ospino, A. E., Puerta-Guardo, F. A., Ramírez-García, J. C., & Fajardo-Moreno, W. S. (2023). Performance Management in Construction Projects: A Systematic Literature Review. *DYNA*, 90(228), 55-65. <https://doi.org/10.15446/dyna.v90n228.108642>

Apéndice A

Manual de usuario de Civil_BuildFlow

Sobre este manual

Este manual está dirigido a las personas que usarán Civil_BuildFlow en el día a día de un contrato de obra pública: directores de obra, interventores, residentes, contratantes, contratistas, contadores y administradores. No se requieren conocimientos técnicos de programación ni de bases de datos; basta con saber usar un navegador web y una hoja de cálculo.

El manual está organizado en cinco partes. La primera explica el inicio rápido (cómo entrar al sistema). La segunda describe los roles y la cadena de mando. La tercera recorre el ciclo de vida de un contrato. La cuarta es la guía detallada de cada módulo del aplicativo. La quinta responde preguntas frecuentes.

A.1 Inicio rápido

A.1.1 *Cómo iniciar sesión*

1. Abrir el navegador web (Chrome, Edge, Safari o Firefox) e ingresar a la dirección del aplicativo proporcionada por el administrador.
2. En la pantalla de inicio de sesión, escribir el correo electrónico y la contraseña asignados.
3. Hacer clic en el botón *Iniciar sesión*.
4. Si no se tiene cuenta, contactar al administrador del aplicativo. Solo el administrador crea usuarios.

A.1.2 Cómo cambiar entre proyectos

Si el usuario está asignado a varios contratos, en la parte superior de la pantalla aparece un selector con el código y nombre de cada contrato. Al elegir uno, toda la información mostrada (KPIs, presupuesto, cronograma, etc.) corresponderá a ese contrato.

A.1.3 Cómo cerrar sesión

En la esquina superior derecha hay un botón *Salir*. Hacer clic allí cierra la sesión y devuelve a la pantalla de inicio.

A.1.4 ¿Y si no tengo proyecto asignado?

El aplicativo muestra el mensaje “Sin proyecto asignado”. Solicitar al administrador la asignación a un contrato y al menos un rol.

A.2 Roles y cadena de mando

A.2.1 ¿Qué es un rol?

Cada usuario tiene uno o varios **roles** asignados por el administrador. El rol determina qué módulos puede ver, qué información puede editar y en qué pasos de los flujos de aprobación interviene.

Un mismo usuario puede tener roles distintos en contratos distintos. Por ejemplo, una persona puede ser director de obra en un contrato e interventor en otro.

A.2.2 Mapa de roles y módulos

La Figura~[A.1](#) ilustra qué módulos toca cada uno de los siete roles del aplicativo y con qué nivel de responsabilidad. Sirve como referencia rápida para saber a qué pantallas tiene acceso cada usuario según su rol asignado.

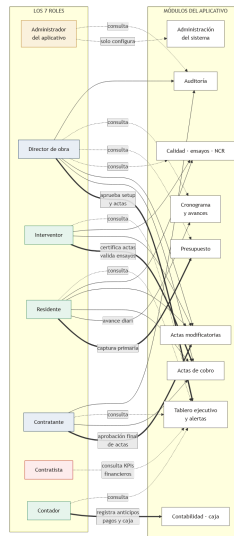


Figura A.1

Mapa de roles y módulos del aplicativo. Las flechas gruesas indican responsabilidad operativa primaria; las delgadas, capacidad de operar; las punteadas, acceso de solo consulta.

A.2.3 *Tabla resumen de los siete roles*

Tabla A.1

Roles del aplicativo y responsabilidades principales.

Rol	Hace	No hace
Administrador	Crea contratos y usuarios, asigna roles, configura catálogos y umbrales del aplicativo.	No opera contratos individualmente; no aprueba actas ni firma documentos.
Director de obra	Aprueba el setup inicial, revisa actas modificatorias y actas de cobro, consume el tablero ejecutivo.	No registra avances diarios ni digita ensayos en campo.
Interventor	Certifica actas de cobro, valida ensayos de calidad, participa en la cadena de aprobación de actas modificatorias.	No firma documentos en nombre del contratista.
Residente	Carga el setup inicial del contrato, registra avances diarios o semanales, registra ensayos y propone actas modificatorias.	No aprueba sus propios actos; no autoriza pagos.
Contratante	Aprueba actas modificatorias y actas de cobro como representante de la entidad contratante.	No carga información operativa de obra.
Contratista	Consulta KPIs financieros, DSO y flujo de caja.	No edita avances físicos ni ensayos.
Contador	Registra anticipos, pagos de actas, retenciones tributarias, movimientos de flujo de caja y gestiona el catálogo de terceros.	No calcula tributos automáticamente; todos los valores son digitados manualmente.

A.2.4 Cadena de mando

El aplicativo implementa tres cadenas de aprobación distintas (Figura~A.2), todas diseñadas para que ningún rol apruebe sus propios actos. Cada cadena define una secuencia obligatoria de firmantes y permite la devolución con motivo en cualquier punto, lo que reinicia el flujo desde el primer aprobador.



Figura A.2

Las tres cadenas de aprobación del aplicativo: setup inicial del contrato, actas modificatorias y actas de cobro parciales. En las tres, cualquier devolución (rechazo con motivo) regresa el documento al estado de edición para que el responsable corrija y vuelva a enviar.

Cadena 1: Setup inicial del contrato

1. El administrador crea el contrato y asigna usuarios.
2. El residente carga los parámetros pactados, el presupuesto y el cronograma en un wizard de tres pasos.
3. El residente envía a revisión.
4. El director de obra revisa y, o bien aprueba (el contrato pasa a fase operativa), o bien devuelve con motivo (regresa al residente para corrección).

Cadena 2: Actas modificatorias

1. El residente (o el director) crea el acta y carga los cambios (cantidades, ítems nuevos, reprogramación).
2. Envía a revisión.
3. El director de obra aprueba o rechaza.
4. El interventor aprueba o rechaza.

5. El contratante aprueba o rechaza.
6. Al ser aprobada por los tres, el acta queda *suscrita* y se aplica al presupuesto y al cronograma en una sola operación.

Cadena 3: Actas de cobro parciales

1. El residente genera el acta parcial desde los avances consolidados al corte.
2. Envía a revisión.
3. El director de obra aprueba o rechaza.
4. El interventor aprueba o rechaza.
5. El contratante aprueba o rechaza.
6. Al ser aprobada, queda *radicada* y el contador puede registrar el pago.

A.2.5 ¿Qué pasa si rechazan mi documento?

Cuando alguien rechaza un documento (setup, acta modificatoria, acta de cobro), debe escribir un motivo. Ese motivo aparece como banner en la pantalla del usuario que debe corregirlo. Una vez corregido, vuelve a enviarse a revisión y la cadena empieza de nuevo desde el primer aprobador.

A.3 Ciclo de vida del contrato

Todo contrato en Civil_BuildFlow atraviesa dos fases con un punto de transición claro.

A.3.1 Fase 1: Setup (configuración inicial)

En esta fase el contrato existe en el sistema pero la mayoría de los módulos operativos están bloqueados. Solo el residente puede cargar datos y solo el director puede aprobar.

- El residente accede al **wizard de setup**, un asistente guiado de tres pasos:
 - Paso 1: parámetros del contrato (CD, AUI desagregado en A/U/I, plazo, fechas).

- Paso 2: presupuesto (capítulos, ítems, opcionalmente macrocapítulos).
 - Paso 3: cronograma (fechas plan por actividad; las actividades se generan automáticamente desde los ítems del presupuesto).
- Al terminar los tres pasos, el residente envía el setup a revisión.
 - El director revisa y aprueba o devuelve.
 - Al aprobar, el contrato pasa a fase operativa. Los parámetros del setup (AUI, plazo, anticipo) quedan congelados; cambios posteriores requieren acta modificatoria.

A.3.2 Fase 2: Operativa

En esta fase se habilitan todos los módulos del aplicativo. El equipo del contrato registra avances, ensayos, certificaciones, pagos y cambios; el dashboard ejecutivo muestra los KPIs en tiempo real y genera alertas automáticamente cuando algún indicador cruza un umbral.

A.3.3 Cierre del contrato

El cierre se gestiona fuera del aplicativo (liquidación contractual con la entidad). El aplicativo conserva todos los registros para auditoría posterior.

A.4 Guía detallada por módulo

A.4.1 Tablero ejecutivo (dashboard)

Qué es: la pantalla principal del aplicativo. Muestra los seis KPIs maestros del contrato, la curva S del avance físico-financiero, y un panel de alertas activas.

Quién lo usa: todos los roles, especialmente director y contratante para tomar decisiones gerenciales.

Qué se puede hacer:

- Ver el valor actual de cada KPI con su semáforo (Verde / Amarillo / Rojo).

- Cambiar la fecha de corte (no se permiten fechas futuras).
- Ver la curva S con tres trazas: PV (planificado), EV (ejecutado), AC (costo real).
- Acceder al panel de alertas activas.
- Pasar el cursor sobre cada KPI para ver la fórmula y la fuente normativa.

Tabla A.2

Indicadores presentados en el tablero ejecutivo.

KPI	Mide	Lectura del semáforo
CPI	Eficiencia del costo	Verde si $\geq 1,00$; rojo si $< 0,90$.
SPI(t)	Eficiencia del cronograma	Verde si $\geq 1,00$; rojo si $< 0,90$.
EAC	Estimación al completar (proyección de costo final)	Sin umbral por defecto, informativo.
%LC	Calidad: lotes conformes	Verde si $\geq 95\%$; rojo si $< 85\%$.
DSO	Días promedio entre presentación y pago de actas	Verde si ≤ 30 días; rojo si > 90 .
% ΔP	Variación del presupuesto vs. inicial	Verde si $\leq I$ (imprevistos del AUI); rojo si $> 15\%$.

A.4.2 Alertas

Qué es: un panel que registra los eventos críticos (KPI en banda amarilla o roja) ocurridos en el contrato.

Quién lo usa: cualquier rol con acceso al contrato.

Qué se puede hacer:

- Ver la lista de alertas pendientes, ordenadas por severidad (rojas primero).
- Marcar una alerta como leída.
- Forzar una re-evaluación con el botón *Re-evaluar ahora*.

Cuándo se genera una alerta: cada vez que se calculan los KPIs con la fecha de corte de

hoy, si un KPI cae en banda amarilla o roja el sistema crea un evento de alerta vinculado al KPI, la fecha y el contrato. Las alertas no se duplican: si un KPI sigue en rojo al día siguiente no se crea otra alerta para el mismo nivel.

A.4.3 Presupuesto

Qué es: el módulo donde vive el desglose financiero del contrato.

Quién lo usa: residente y director durante el setup; consulta todos los roles después.

Estructura: jerarquía de cuatro niveles, donde el macrocapítulo es opcional.

contrato → macrocapítulo (opcional) → capítulo → ítem

Qué se puede hacer en fase setup:

- Descargar la plantilla Excel del presupuesto.
- Llenar la plantilla con los ítems del contrato. La plantilla acepta combinar celdas en Excel y dejar códigos repetidos en blanco (el sistema los rellena automáticamente).
- Cargar la plantilla llena al aplicativo.
- Crear, editar y eliminar capítulos, macrocapítulos e ítems manualmente.
- Vaciar todo el presupuesto si se cargó por equivocación (requiere confirmación escribiendo “VACIAR”).

Qué se puede hacer en fase operativa:

- Consultar el presupuesto vigente.
- Descargar exports en Excel del presupuesto inicial o vigente.
- Para modificar el presupuesto, usar el módulo de cambios contractuales (acta modificatoria).

Sobre las actividades del cronograma: cada ítem genera automáticamente una actividad de cronograma con peso PV proporcional a su subtotal sobre el CD total. No es necesario crear

actividades a mano.

A.4.4 Cronograma y avances

Qué es: el módulo donde se planifican fechas y se registran avances físicos diarios o semanales.

Quién lo usa: residente (escribe), todos los roles (leen).

Qué se puede hacer:

- Ver el diagrama de Gantt del contrato con los capítulos y macrocapítulos. Cuando un capítulo o macrocapítulo alcanza el 100 %, su barra se colorea de verde.
- Registrar un avance individual: seleccionar la actividad, ingresar la fecha y la cantidad ejecutada.
- Descargar la plantilla semanal de avances: una fila por actividad, una columna por semana del proyecto.
- Llenar la plantilla con el porcentaje de avance ejecutado en cada semana (acepta valores como 10, 0.10 o 10 % indistintamente).
- Cargar la plantilla llena: el sistema convierte los porcentajes a cantidades y crea o actualiza los avances con fecha del último día de cada semana.
- Descargar el Gantt como archivo Excel con barras coloreadas por capítulo y avance pintado.

A.4.5 Cobro (actas parciales)

Qué es: el módulo donde se generan las actas parciales de cobro que se presentan a la entidad contratante.

Quién lo usa: residente para generar; cadena director–interventor–contratante para aprobar.

Cómo se calcula un acta: para cada actividad del contrato, el sistema toma los avances

físicos acumulados al corte indicado y aplica:

$$\text{cantidad ejecutada} \times \text{precio unitario} \times (1 + \text{AUI}) - \text{amortización del anticipo}$$

Qué se puede hacer:

- Previsualizar un acta antes de generarla, indicando la fecha de corte.
- Descargar la previsualización como Excel.
- Generar el acta de manera definitiva (queda en estado *borrador*).
- Enviar el acta a la cadena de aprobación.
- Descargar el Excel del acta ya generada (incluye hoja de portada, consolidación de ítems y registro de aprobaciones).

A.4.6 Cambios contractuales (*actas modificatorias*)

Qué es: el módulo donde se documentan las modificaciones al contrato firmado: aumentos de cantidad de un ítem, ítems no previstos nuevos y reprogramaciones de fechas.

Quién lo usa: residente o director para crear y cargar cambios; cadena director–interventor–contratante para aprobar.

Tipos de cambio:

- **Q (Cantidad):** se modifica la cantidad pactada de un ítem existente.
- **NP (No Previsto):** se agrega un ítem nuevo al presupuesto.
- **T (Tiempo):** se reprogramaron las fechas plan de una o varias actividades.

Cómo se carga un acta:

1. Crear la nueva acta con su número, fecha de suscripción y justificación.
2. Descargar la plantilla Excel del acta. La plantilla tiene dos hojas:

- CAMBIOS: lista todos los ítems del presupuesto vigente. Editar la *cantidad actualizada* para generar cambios Q, o agregar filas nuevas con códigos de ítem no existentes para generar cambios NP.
- REPROGRAMACION: lista todas las actividades con sus fechas plan actuales. Llenar las columnas *fecha inicio nueva* y *fecha fin nueva* solo en las actividades que se requieren reprogramar.

3. Cargar la plantilla llena al aplicativo.

4. Enviar el acta a revisión.

Qué pasa al suscribir el acta: cuando los tres aprobadores firman, el sistema aplica los cambios en una sola operación: actualiza cantidades pactadas, crea ítems no previstos con sus actividades asociadas y modifica las fechas del cronograma. El BAC y los KPIs se recalculan automáticamente.

A.4.7 Calidad

Qué es: el módulo donde se planifican y registran los ensayos técnicos de aceptación del contrato y se gestionan las no conformidades (NCR).

Quién lo usa: residente e interventor (escriben); director y contratante (leen).

Conceptos clave:

- **Catálogo de ensayos:** lista extensible, gestionada por el administrador, con los tipos de ensayo posibles, sus criterios de aceptación y la norma de referencia. Por ejemplo: “Resistencia a compresión de cilindros, NTC 673, criterio: ≥ 21 MPa”.
- **Ensayo prescrito:** ensayo que el plan de calidad indica que debe ejecutarse para un capítulo o lote.
- **Ensayo ejecutado:** resultado real entregado por el laboratorio. El sistema compara el valor

obtenido con el criterio del catálogo y marca automáticamente si es conforme o no conforme.

- **No conformidad (NCR):** documento de gestión que se abre cuando un ensayo es no conforme, para registrar la causa raíz y el plan de cierre.

Qué se puede hacer:

1. **Prescribir un ensayo:** seleccionar el tipo del catálogo, asignar fecha programada y frecuencia.
2. **Registrar un ensayo ejecutado:** click en *Ejecutar* sobre el ensayo prescrito. El sistema muestra el criterio de aceptación; basta con ingresar el valor numérico entregado por el laboratorio y opcionalmente observaciones. La conformidad se calcula en vivo (mensaje verde o rojo según el valor).
3. **Gestionar una NCR:** si el ensayo es no conforme, el sistema abre automáticamente una NCR con descripción pre-llenada. El residente o interventor abre la NCR, completa la causa raíz y el plan de cierre, y avanza el estado: *abierta* → *en revisión* → *cerrada*. Para cerrarla es obligatorio tener causa raíz y plan de cierre llenos.

Conexión con el KPI %LC: el indicador %LC se calcula como ensayos conformes sobre ensayos totales. Una NCR cerrada no eleva el %LC porque el ensayo individual sigue siendo no conforme; para subir el %LC se debe ejecutar un ensayo nuevo del material remediado.

A.4.8 Contabilidad

Qué es: el módulo donde el contador registra los movimientos financieros del contrato: anticipo, pagos de actas, retenciones, ingresos y egresos.

Quién lo usa: contador (escribe); director (lee).

Pestaña Anticipo

- Registrar el desembolso del anticipo recibido (porcentaje del contrato o valor absoluto).
- El sistema crea simultáneamente un movimiento de caja de tipo *ingreso anticipo* y un registro de pasivo (ContractLiability) que controla el saldo vivo del anticipo.
- Eliminar el anticipo si fue registrado por error (solo si no hay actas pagadas que dependan de él).

Pestaña Actas certificadas

- Ver las actas presentadas a la entidad con sus tres fechas (certificación, presentación, pago).
- Procesar el pago: cuando llega el dinero a la cuenta, el contador hace clic en *Procesar pago* y digita las retenciones aplicadas (IVA, ICA, estampillas, retención en la fuente). El sistema calcula el neto, lo registra como *ingreso acta neto* y aplica la amortización proporcional del anticipo.

Pestaña Flujo de caja

- Ver todos los movimientos del contrato (ingresos y egresos) ordenados por fecha.
- Registrar movimientos adicionales no generados automáticamente: préstamos de accionista, préstamos bancarios, costos directos, costos indirectos, egresos tributarios, dividendos, otros ingresos y otros egresos.
- Descargar la plantilla Excel de movimientos.
- Cargar movimientos masivos desde Excel (con auto-creación de terceros desconocidos).
- Descargar el flujo de caja completo como Excel.
- Eliminar movimientos individuales.
- Vaciar todos los movimientos del contrato con confirmación escribiendo “VACIAR”. Por defecto preserva los movimientos automáticos de actas y anticipo; el administrador puede borrarlos también marcando una casilla adicional.

Pestaña Terceros

- Mantener el catálogo de NITs, nombres y tipos de los terceros con quienes el contrato tiene movimientos (proveedores, subcontratistas, bancos, etc.).
- Centraliza la información tributaria para evitar duplicados en el flujo de caja.

Regla importante: el aplicativo nunca calcula tributos automáticamente. Todos los valores de IVA, ICA, estampillas y retenciones los digita el contador acta por acta, según la normativa aplicable al contrato.

A.4.9 Auditoría

Qué es: el registro completo de todas las acciones realizadas en el aplicativo: quién hizo qué, cuándo y por qué.

Quién lo usa: director, contratante y administrador (consulta).

Qué se puede hacer:

- Filtrar el registro por módulo (presupuesto, cronograma, contabilidad, calidad, cambios, etc.).
- Filtrar por entidad (un acta específica, un ensayo específico).
- Ver los datos antes y después de cada cambio.
- Leer las justificaciones que el usuario escribió al editar o aprobar.

Importante: el registro de auditoría no se puede modificar ni eliminar. Una corrección de un dato anterior se documenta como un nuevo evento que referencia al anterior, no como una sobreescritura. Esta es una regla técnica del sistema que garantiza trazabilidad total para auditoría externa.

A.4.10 Administración (solo administrador)

Qué es: el panel de configuración del aplicativo en su conjunto.

Quién lo usa: únicamente el administrador.

Pestaña Proyectos y usuarios

- Crear contratos.
- Crear usuarios (correo, nombre, contraseña).
- Asignar usuarios a contratos con uno o varios roles.
- Eliminar usuarios (soft-delete anonimizado; el registro de auditoría conserva su historial).
- Eliminar contratos.

Pestaña Umbrales V/A/R

- Ver y editar los umbrales del semáforo para cada KPI del contrato seleccionado.
- Cargar umbrales por defecto (botón disponible si el contrato no tiene umbrales configurados).
- Restablecer a defaults (sobreescribe los umbrales actuales).

Pestaña Catálogo de ensayos

- Crear nuevas entradas del catálogo de ensayos sin necesidad de programar nada. El formulario pide:
 - Tipo de ensayo (texto libre).
 - Norma de referencia y año.
 - Frecuencia mínima sugerida.
 - Variable medida (ej. “Resistencia a compresión”) con su unidad (ej. MPa).
 - Operador del criterio: $\geq$, $\leq$, $=$, entre.

- Valor o valores de aceptación.
 - KPI alimentado: Q1 (Lotes Conformes), Q2, Q3 o Q4.
 - Categoría: concreto, acero, suelo, asfalto, edificación, redes u otro.
- Editar o eliminar entradas existentes.

Pestaña Plantillas Excel

- Ver las versiones activas e inactivas de las plantillas Excel (presupuesto, cronograma, avances).

A.5 Preguntas frecuentes

¿Por qué no puedo editar el AUI después de aprobado el setup?

Es una regla operativa del aplicativo: al aprobar el setup, los parámetros pactados del contrato (AUI, anticipo, plazo) se congelan. Cualquier cambio posterior debe documentarse como acta modificatoria, con su cadena de aprobación, para garantizar trazabilidad contractual.

¿Qué pasa si tengo conexión intermitente en obra?

El aplicativo está diseñado para trabajar sin conexión a internet. Los avances y registros que haga el residente en campo se guardan localmente en el navegador y se sincronizan automáticamente cuando vuelve a haber conexión. No se pierde información.

¿El sistema calcula automáticamente los impuestos?

No. Civil_BuildFlow nunca calcula IVA, ICA, retenciones en la fuente, estampillas u otros tributos. Todos esos valores los digita el contador acta por acta, conforme a la normativa aplicable al contrato. El aplicativo persiste lo digitado, no lo calcula.

¿Cómo elimino algo cargado por equivocación?

Depende del objeto:

- **Presupuesto vacío durante setup:** botón “Vaciar presupuesto” en el módulo de presupuesto. Confirma escribiendo “VACIAR”.
- **Capítulo o ítem individual:** ícono de papelera al lado del elemento, solo durante setup.
- **Movimiento de caja:** ícono de papelera en cada fila del flujo de caja.
- **Acta modificatoria:** solo el administrador puede eliminarla; los cambios al presupuesto se revierten automáticamente.
- **Usuario:** solo el administrador, en /admin~→~Proyectos y usuarios.

¿Qué hago si un ensayo dio no conforme?

El sistema abre automáticamente una NCR vinculada al ensayo. Hay que ir al módulo de calidad, buscar la NCR en la sección de no conformidades, hacer clic en *Gestionar* y completar: causa raíz (por qué pasó) y plan de cierre (qué se va a hacer para remediarlo). Avanzar el estado a *en revisión* y luego a *cerrada* cuando la remediación esté hecha y verificada.

¿Por qué el panel de alertas está vacío si veo KPIs en rojo?

Verificar que el administrador haya configurado los umbrales V/A/R del contrato. Sin umbrales configurados, todos los KPIs salen como “Sin datos” (gris) y no se generan alertas. Ir a /admin~→~Umbrales V/A/R y hacer clic en *Cargar umbrales por defecto* si la lista está vacía.

¿Quién puede modificar el catálogo de ensayos?

Únicamente el administrador. Es un catálogo extensible que no requiere recompilación del sistema: agregar una entrada nueva en el panel admin la deja disponible inmediatamente para todos los contratos.

¿Qué pasa si un acta de cobro se rechaza?

El acta vuelve al estado *borrador* y aparece un banner con el motivo del rechazo. El residente debe corregir lo señalado (por ejemplo ajustar avances o documentación) y volver a enviar a revisión. La cadena de aprobación empieza de nuevo desde el primer aprobador.

¿Cómo veo el detalle de las modificaciones del contrato?

En el módulo de cambios contractuales, cada acta muestra su lista de cambios desagregada por tipo (Q, NP, T), el impacto acumulado en presupuesto y plazo, y el histórico completo de aprobaciones con quién firmó qué y cuándo.

¿Cómo descargo un Excel del cronograma?

En el módulo de cronograma, botón *Descargar Gantt*. Genera un archivo Excel con las actividades agrupadas por capítulo y macrocapítulo, con barras que muestran las fechas plan y el porcentaje de avance ejecutado.

Mi usuario tiene varios roles en el mismo contrato. ¿Qué pasa?

El aplicativo combina los permisos de los roles. Por ejemplo, un usuario que sea residente e interventor a la vez podrá hacer todo lo que cada uno permite, pero la cadena de aprobación lo trata como dos firmantes distintos. No puede aprobar como interventor un acta que él mismo envió como residente, salvo que sea administrador.

¿Cuánto tiempo se conserva el historial?

Indefinidamente. El registro de auditoría es *append-only*: no se elimina nada, solo se agregan eventos. Esto garantiza que cualquier auditoría externa posterior (contraloría, revisoría fiscal, ente de control) pueda reconstruir la historia completa del contrato.

Contacto y soporte

Para reportar incidencias técnicas o solicitar ayuda con un caso de uso no documentado, contactar al administrador del aplicativo de su organización.