



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

Propuesta de mejora en la eficiencia del desempeño operativo en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management

Tesis presentada por:

Pantigozo Garnica, Ronald Antonio

ORCID: 0009-0008-3275-070X

para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Asesor (a):

Dr. Zevallos Gonzales, Wilbert Felipe

ORCID: 0000-0003-1249-6130

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA INDUSTRIAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 25 de Marzo del 2026

Dictamen: 016483-C-EPII-2026

Visto el borrador del expediente 016483, presentado por:

2020836311 - PANTIGOZO GARNICA RONALD ANTONIO

Titulado:

PROPUESTA DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL DESEMPEÑO OPERATIVO EN PROYECTOS DE INGENIERÍA MULTIDISCIPLINARIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO EARNED VALUE MANAGEMENT

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO INDUSTRIAL

**29276357 - RODRIGUEZ SALAZAR OSWALDO RENE
DICTAMINADOR**



**40926859 - VALDIVIA LLERENA CESAR ALONSO RENATO
DICTAMINADOR**



**29653773 - CARRASCO BOCANGEL JULIO CESAR
DICTAMINADOR**



PROPUESTA DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DEL DESEMPEÑO OPERATIVO EN PROYECTOS DE INGENIERÍA MULTIDISCIPLINARIA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO EARNED VALUE MANAGEMENT

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	13%	8%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	indico.fnal.gov Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	www.murciasalud.es Fuente de Internet	1%
5	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repository.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1%
10	Johan A., Montaña T. P. Edward, Tovar. "Diseño e Implementación de un Sistema de Gestión en la Cadena de Suministros Para	<1%

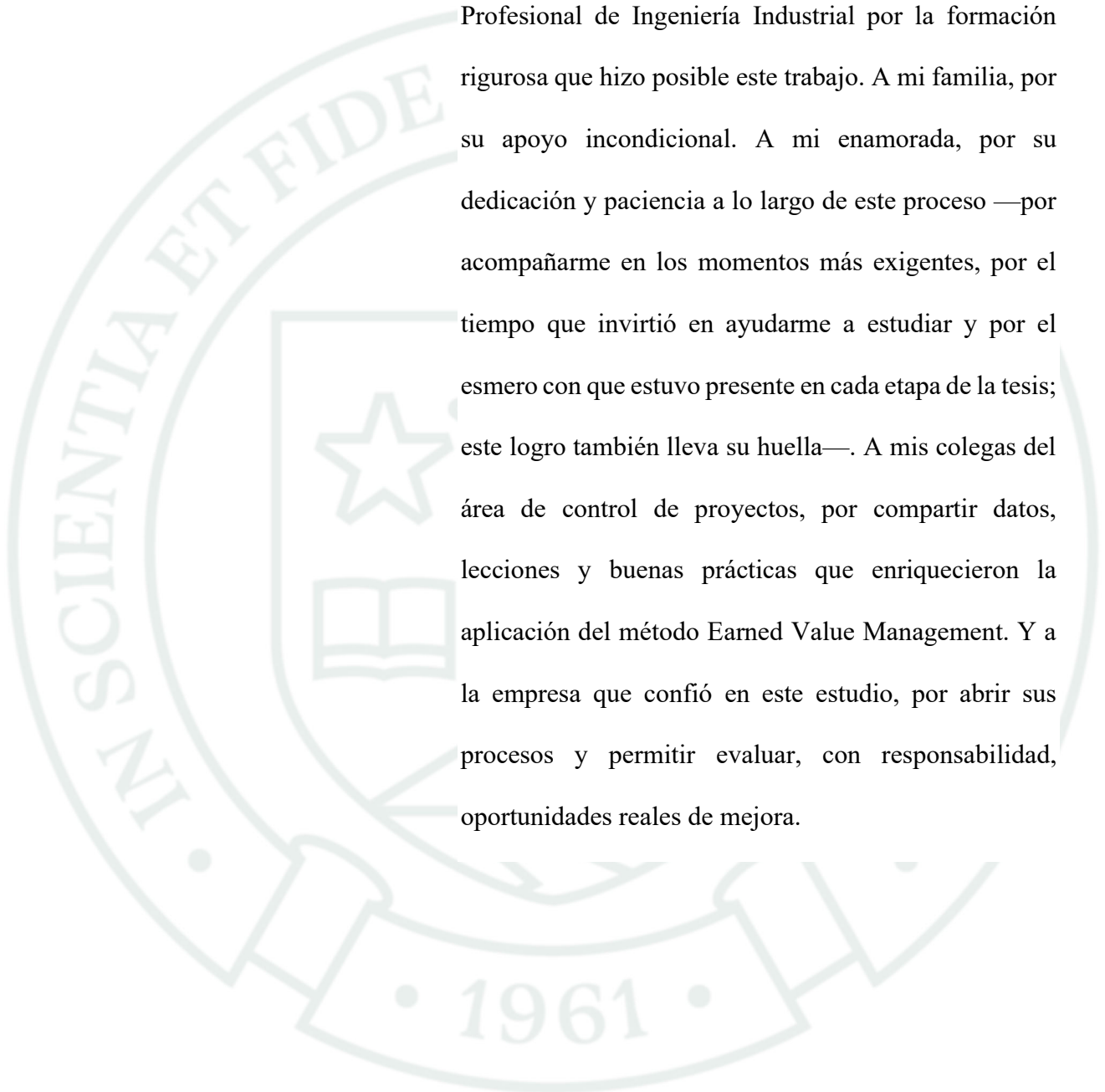
Dedicatoria

A mis padres, por enseñarme a trabajar con constancia incluso cuando los números no salían a favor. A mi familia, que convirtió cada madrugada de estudio en motivo de orgullo. A mi enamorada, por su apoyo incondicional, su tiempo y su esmero en acompañarme en cada etapa de este camino —por quedarse a mi lado en las noches largas, creer en mí cuando yo dudaba, y convertirse en el impulso más cercano para seguir adelante con esta tesis—. Y a quienes me tendieron la mano en el camino —amigos, docentes y compañeros—, porque con su paciencia y empuje aprendí a transformar horas de esfuerzo en resultados reales.



Agradecimientos

A la Universidad Católica de Santa María y a la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial por la formación rigurosa que hizo posible este trabajo. A mi familia, por su apoyo incondicional. A mi enamorada, por su dedicación y paciencia a lo largo de este proceso —por acompañarme en los momentos más exigentes, por el tiempo que invirtió en ayudarme a estudiar y por el esmero con que estuvo presente en cada etapa de la tesis; este logro también lleva su huella—. A mis colegas del área de control de proyectos, por compartir datos, lecciones y buenas prácticas que enriquecieron la aplicación del método Earned Value Management. Y a la empresa que confió en este estudio, por abrir sus procesos y permitir evaluar, con responsabilidad, oportunidades reales de mejora.



RESUMEN

Este estudio formuló una propuesta para optimizar el control operativo de proyectos de ingeniería mediante la estandarización del método de Valor Ganado (EVM). El diagnóstico inicial evidenció ineficiencias en el uso de horas-hombre y demoras en el cumplimiento de entregables, con indicadores de desempeño por debajo de lo planificado (p. ej., 66 HH/entregable frente a 44 HH presupuestadas). En respuesta, se diseñó un sistema integrado que normaliza el CPI y el SPI, incorpora un tablero semanal T+1 y establece procedimientos operativos para asegurar trazabilidad, disciplina de datos y coordinación entre disciplinas.

La evaluación se proyectó el impacto de la propuesta sobre el desempeño, utilizando metas operativas (CPI_meta = 0.95; SPI_meta = 0.95) y el enfoque EVM para estimar ahorros. Bajo estos supuestos, el ahorro total se estimó en 9,076 HH (-19.85% respecto del presupuesto en HH), y el beneficio económico en S/ 251,749, frente a un costo de implementación estimado de S/ 40,405.48, lo que arroja una relación beneficio–costo aproximado de 6.23. En términos de tendencia, se prevé que los proyectos con mayor brecha de eficiencia alcancen $CPI \approx 0.95$ y estabilicen su SPI dentro del rango objetivo.

El trabajo concluye que la estandarización del EVM, combinada con un tablero T+1 y prácticas de control documentadas, constituye un marco operativo capaz de reducir variabilidad, priorizar decisiones y mejorar la productividad medida en HH/entregable. Dado que los resultados son proyectados, se recomienda ejecutar una fase de validación con datos reales (ventana pre–post y estabilización) para contrastar los supuestos y ajustar los parámetros de medición, especialmente el diccionario de entregables equivalentes (EE) y las reglas de %EV por disciplina.

Palabras clave: Valor ganado, eficiencia, control de proyectos.

ABSTRACT

This study developed a proposal to optimize the operational control of engineering projects through the standardization of the Earned Value Management (EVM) method. The initial diagnosis revealed inefficiencies in the use of man-hours and recurring delays in meeting deliverables, with performance indicators below planned levels (for example, 66 man-hours per deliverable compared to 44 hours budgeted). In response, an integrated system was designed to standardize CPI and SPI indicators, implement a weekly T+1 monitoring dashboard, and establish operational procedures to ensure data traceability, consistency, and coordination among disciplines.

The evaluation projected the expected impact of the proposal using operational targets (CPI_{meta} = 0.95; SPI_{meta} = 0.95) and the EVM framework to estimate potential savings. Under these parameters, the proposal projected a total saving of 9,076 man-hours (equivalent to a 19.85% reduction in the total estimated workload) and an economic benefit of S/ 251,749, compared with an implementation cost of S/ 40,405.48, resulting in a benefit–cost ratio of approximately 6.23. The projections indicate that projects with greater efficiency gaps would reach a CPI close to 0.95 and stabilize their SPI within the target performance range.

The study concluded that the standardization of EVM, supported by a T+1 control dashboard and structured operational practices, provides an effective framework to reduce variability, enhance decision-making, and improve productivity measured in man-hours per deliverable. Since the results are projected, it is recommended that a validation phase be carried out with real project data—using a pre–post comparison and a stabilization window—to verify assumptions and refine measurement parameters, particularly the dictionary of equivalent deliverables (EE) and the %EV rules by discipline.

Keywords: earned Value, efficiency, project control.

ÍNDICE

Dedicatoria

Agradecimientos

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL.....	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.1.1. Descripción del Problema.....	4
1.1.2. Formulación del Problema.....	6
1.1.3. Sistematización del problema.....	6
1.2. Objetivos de la investigación.....	7
1.2.1. Objetivo General.....	7
1.2.2. Objetivos Específicos.....	7
1.3. Justificación del estudio.....	7
1.3.1. Justificación Práctica.....	7
1.3.2. Justificación Social.....	8
1.3.3. Justificación Económica.....	8
1.3.4. Justificación Metodológica.....	8
1.3.5. Justificación Profesional y/o personal.....	9
1.4. Delimitaciones.....	9
1.4.1. Delimitación temática.....	9
1.4.2. Delimitación espacial.....	10
1.4.3. Delimitación temporal.....	10
1.5. Hipótesis.....	10
1.6. Variables e indicadores.....	10
1.6.1. Variables.....	10
1.6.2. Operacionalización de variables.....	10
1.7. Planteamiento Metodológico.....	11
1.7.1. Diseño de la Investigación.....	11
1.7.2. Tipo de Investigación.....	11
1.7.3. Nivel de la Investigación.....	11
1.7.4. Método de la Investigación.....	12

1.7.5.	Levantamiento de información	12
1.7.6.	Métodos de ingeniería a aplicarse.....	13
1.7.7.	Cobertura de estudio	14
CAPÍTULO II.....		15
2.	MARCO TEÓRICO.....	16
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	16
2.1.1.	Internacionales	16
2.1.2.	Nacionales.....	17
2.1.3.	Locales	19
2.2.	Marco teórico conceptual.....	21
2.2.1.	Proyecto de Ingeniería Multidisciplinaria.....	21
2.2.2.	Horas-Hombre.....	24
2.2.3.	Eficiencia Operativa en Proyectos	28
2.2.4.	Earned Value Management (EVM)	31
2.2.5.	Indicadores de Desempeño	36
2.2.6.	Análisis Costo-Beneficio en Ingeniería	40
CAPÍTULO III.....		44
3.	Diagnóstico del Desempeño Operativo	45
3.1.	Caracterización de los proyectos seleccionados	45
3.1.1.	Organización y recursos de la empresa.....	45
3.1.2.	Proyecto 1: Subestación eléctrica	49
3.1.3.	Proyecto 2: Cogeneración eléctrica con vapor residual.....	50
3.1.4.	Proyecto 3: Secador de concentrado	51
3.2.	Análisis de consumo de horas-hombre	53
3.2.1.	Proyecto 1: Subestación eléctrica	53
3.2.2.	Proyecto 2: Cogeneración eléctrica con vapor residual.....	57
3.2.3.	Proyecto 3: Secador de concentrado	64
3.3.	Evaluación de indicadores CPI, SPI, EV, PV, AC	67
3.3.1.	Proyecto 1: Subestación eléctrica	67
3.3.2.	Proyecto 2: Cogeneración eléctrica con vapor residual.....	69
3.3.3.	Proyecto 3: Secador de concentrado	71
3.4.	Identificación de brechas y causas de ineficiencia	73
3.5.	Síntesis de hallazgos cuantitativos y cualitativos	77
3.5.1.	Conclusiones integradas.....	80

CAPÍTULO IV.....	82
4. Propuesta de Mejora	83
4.1. Objetivo y alcance.....	83
4.2. Arquitectura de la solución (mejoras).....	83
4.2.1. Estandarización del Earned Value (EV)	83
4.2.2. Ceremonias de handoff interdisciplinario.....	89
4.2.3. Gobernanza de RFI/RFC y rebaselina	92
4.2.4. Planificación y nivelación de recursos (leveling)	94
4.2.5. Rebalanceo Sr: Cadista + mentoring	97
4.2.6. Tablero EVM T+1 y alertas tempranas.....	98
4.2.7. Control documental y trazabilidad.....	100
4.3. Plan de implementación.....	103
CAPÍTULO V	104
5. Evaluación de la Propuesta	105
5.1. Impacto en indicadores de desempeño (CPI y SPI).....	105
5.1.1. Costo (CPI)	105
5.1.2. Cronograma (SPI)	107
5.2. Estimación del ahorro en horas-hombre	109
5.3. Costo proyectado	110
5.4. Relación beneficio-costos.....	112
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de problema.....	5
Figura 2	Organigrama de la empresa.....	46
Figura 3	Variación absoluta y porcentual Subestación eléctrica.....	55
Figura 4	Variación absoluta y porcentual Cogeneración eléctrica.....	62
Figura 5	Variación absoluta y porcentual Secador de concentrado.....	66
Figura 6	Representación gráfica Subestación eléctrica.....	69
Figura 7	Representación gráfica Cogeneración eléctrica con vapor residual.....	71
Figura 8	Representación gráfica Secador de concentrado.....	73
Figura 9	Diagnostico Ishikawa del problema.....	75
Figura 10	Diagnostico FODA del problema.....	76
Figura 11	Propuestas para Curvas S total y por disciplina.....	86
Figura 12	Dashboard.....	99
Figura 13	Tabla de control de revisiones.....	101
Figura 14	Cronograma de implementación.....	103
Figura 15	CPI Promedio – Antes vs después.....	107
Figura 16	SPI promedio – Antes vs Después.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	10
Tabla 2	Asignación de cadistas por disciplina.....	48
Tabla 3	Cuadro resumen de horas Subestación eléctrica.....	53
Tabla 4	Distribución de consumo de horas por disciplina Subestación eléctrica.....	56
Tabla 5	Cuadro resumen de horas Cogeneración eléctrica.....	57
Tabla 6	Distribución de consumo de horas por disciplina Cogeneración eléctrica	63
Tabla 7	Cuadro resumen de horas Secador de concentrado	64
Tabla 8	Distribución de consumo de horas por disciplina Secador de concentrado.....	66
Tabla 9	Síntesis comparativa Subestación eléctrica	67
Tabla 10	Síntesis comparativa Cogeneración eléctrica con vapor residual.....	69
Tabla 11	Síntesis comparativa Secador de concentrado	71
Tabla 12	Síntesis comparativa (corte analizado, en HH).....	77
Tabla 13	Matriz Causa → Efecto → Mejora propuesta	77
Tabla 14	Diccionario de entregables.....	83
Tabla 15	Reglas de porcentaje ganado.....	85
Tabla 16	Plantilla propuesta PV-EV-AC.....	86
Tabla 17	Matriz RACI de los responsables	88
Tabla 18	Tabla KPI/Meta.....	88
Tabla 19	Agenda tipo.....	90
Tabla 20	Cuadro checklists DoR (Definition of Ready).....	90
Tabla 21	Cuadro checklist DoD (Definition of Done).....	90
Tabla 22	Plantilla Formato de Acta T+1.....	91
Tabla 23	Matriz RACI de los responsables	91
Tabla 24	Tabla KPI/Meta.....	91
Tabla 25	Plantilla seguimiento RFI	92
Tabla 26	Plantilla seguimiento RFC	93
Tabla 27	Matriz RACI RFI/RFC	94
Tabla 28	Cuadro KPI/Meta.....	94
Tabla 29	Plantilla de planificación	95
Tabla 30	Matriz RACI leveling	96
Tabla 31	Cuadro KPI/Meta.....	96
Tabla 32	Mapa de capacidad y productividad	97
Tabla 33	Plan de mentoring de 8 semanas.....	97

Tabla 34	Matriz RACI responsables.....	98
Tabla 35	Cuadro KPI/Meta.....	98
Tabla 36	Matriz RACI responsables.....	100
Tabla 37	Cuadro KPI/Meta.....	100
Tabla 38	Reglas operativas (resumen).....	100
Tabla 39	Metadatos y nomenclatura.....	101
Tabla 40	Matriz RACI responsables.....	101
Tabla 41	Cuadro KPI/Meta.....	102
Tabla 42	Diferencia CPI.....	106
Tabla 43	Diferencia SPI.....	108
Tabla 44	Ahorro HH.....	110
Tabla 45	Diseño/afinamiento estándar EV (horas).....	111
Tabla 46	Capacitación (horas × personas).....	111
Tabla 47	Parametrización/automatización del tablero T+1.....	111
Tabla 48	Puesta en marcha (POE, mentoring, reuniones extra).....	111
Tabla 49	Sobrecarga temporal de analistas/validadores durante el piloto.....	112
Tabla 50	Costos por concepto.....	113
Tabla 51	Desglose para prorrateo (informativo).....	113
Tabla 52	Prorrateo por proyecto.....	113
Tabla 53	Calculo Beneficios/Costo.....	114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Validación del Diccionario de Entregables Equivalentes	126
---	-----



INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la ingeniería moderna, la gestión eficiente de los recursos humanos y técnicos se ha convertido en un factor decisivo para el éxito de los proyectos. Las empresas que desarrollan servicios de ingeniería multidisciplinaria enfrentan el reto constante de mantener la productividad sin comprometer la calidad ni exceder los costos planificados. Este equilibrio, aunque deseable, suele verse afectado por deficiencias en la programación, el control y la coordinación entre las distintas especialidades que participan en cada proyecto. En consecuencia, los resultados finales no siempre reflejan el esfuerzo y las horas-hombre invertidas, lo que genera desviaciones presupuestales y pérdida de rentabilidad.

La empresa objeto de estudio, dedicada a la prestación de servicios integrales de ingeniería y construcción, ha evidenciado en sus últimos proyectos una brecha significativa entre el tiempo planificado y el tiempo real empleado para completar los entregables. Este exceso en el consumo de horas-hombre no solo incrementa los costos operativos, sino que también afecta la productividad del personal técnico y la confiabilidad de las estimaciones iniciales. De igual forma, la ausencia de mecanismos cuantitativos que permitan identificar tempranamente estas desviaciones limita la capacidad de respuesta ante los sobrecostos y retrasos.

Frente a esta problemática, la presente investigación propone la aplicación del método Earned Value Management (EVM) como una alternativa integral para mejorar la eficiencia en el uso de recursos y el control del desempeño. Este enfoque permite evaluar de forma simultánea el costo, el cronograma y el avance físico del proyecto mediante indicadores de gestión que relacionan lo planificado con lo realmente ejecutado. Al integrar estos tres elementos, el EVM brinda una visión precisa del rendimiento operativo y facilita la toma de decisiones basadas en datos verificables, fortaleciendo así la gestión técnica y administrativa de los proyectos.

El desarrollo del estudio adopta un enfoque aplicado, con alcance descriptivo y diseño no experimental. Se analizan indicadores de desempeño, registros de consumo de horas y

documentos de control interno, complementados con entrevistas a los responsables de cada área técnica. A partir de este diagnóstico se identifican las causas principales del bajo rendimiento por entregable, para luego diseñar una propuesta de mejora orientada a optimizar la planificación, el control y la asignación de recursos humanos. La validación de la propuesta se fundamenta en el análisis de los indicadores de valor ganado, que permiten comprobar la efectividad del método propuesto.

El documento se estructura en cinco capítulos. En el Capítulo I se desarrolla la introducción, el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del estudio. El Capítulo II describe la metodología empleada, el tipo de investigación, el diseño y las técnicas de recolección de datos. El Capítulo III presenta el marco teórico, donde se abordan los conceptos fundamentales sobre gestión de proyectos, control de costos y el método EVM. En el Capítulo IV se exponen los resultados del diagnóstico, los indicadores analizados y la identificación de las principales causas del problema. Finalmente, en el Capítulo V se formula la propuesta de mejora basada en el Earned Value Management y se evalúan sus beneficios en términos de eficiencia, productividad y control operativo.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del Problema

La empresa en estudio brinda servicios integrales de ingeniería y construcción, participando activamente en todas las fases de un proyecto, desde la concepción hasta la puesta en marcha. Esta organización opera bajo un enfoque multidisciplinario, gestionando simultáneamente recursos técnicos de diversas especialidades para garantizar el cumplimiento de entregables conforme a estándares de calidad, plazo y presupuesto. Su misión se orienta a ejecutar proyectos con alta eficiencia técnica y operativa, constituyéndose como un referente competitivo en el sector industrial y de infraestructura.

Sin embargo, en los últimos proyectos gestionados, se ha observado una tendencia crítica: semanalmente se sobrepasa el presupuesto de horas establecido para los entregables. Esta situación ha generado una acumulación excesiva de horas trabajadas sin un avance físico proporcional en el proyecto, provocando que aumente el costo total por unidad entregada y reduciendo la productividad global. En concreto, se ha identificado un incremento del consumo por entregable de 44 horas-hombre presupuestadas a 66 reales, lo cual refleja una pérdida de eficiencia sistemática.

Asimismo, se ha incrementado de forma significativa la brecha entre lo ejecutado y lo ganado, evidenciada en un Cost Performance Index (CPI) de 0.51 y un Schedule Performance Index (SPI) de 0.69. Esta situación pone en evidencia una baja eficiencia en el uso de los recursos técnicos por disciplina, lo que a su vez incrementa el riesgo de sobregiro del presupuesto total en horas, con impactos negativos en la rentabilidad proyectada de la obra. Esto compromete la sostenibilidad económica del proyecto y limita su competitividad.

Otro efecto importante es el retraso respecto al cronograma establecido, lo que genera una acumulación de entregables sin terminar y desorganización operativa. Esta situación eleva la probabilidad de que el proyecto incurra en penalidades contractuales, se vea obligado a solicitar

extensiones de plazo o incurra en el incumplimiento de fechas clave previamente pactadas con el cliente, afectando su imagen profesional y nivel de cumplimiento contractual.

Entre las causas identificadas se encuentra un bajo rendimiento por entregable, medido por el salto de 44 a 66 horas-hombre por unidad entregada; un alto consumo de horas respecto al valor ganado, con 5,122 horas gastadas frente a solo 2,594 ganadas; y un avance físico real significativamente inferior al planeado, con un desfase del 14.5% (46.4% real vs 60.9% planeado al 4 de julio). Estas evidencias apuntan a deficiencias estructurales en la gestión del rendimiento técnico y operativo del proyecto.

Frente a esta problemática, se considera que la aplicación del método Earned Value Management (EVM) es una alternativa viable y eficaz. Esta metodología permite integrar el tiempo, el costo y el alcance del proyecto en indicadores clave como el CPI y el SPI, facilitando la identificación temprana de desviaciones y la toma de decisiones correctivas con base cuantitativa. De esta manera, EVM se convierte en una herramienta de control proactivo que contribuye a mejorar la eficiencia en el consumo de horas-hombre y a asegurar un mayor alineamiento entre el rendimiento planificado y el real.

Figura 1
Árbol de problema

Efectos	Aumenta el costo total del proyecto por unidad entregada y baja la productividad global.	Riesgo de sobregiro del presupuesto total en horas y menor rentabilidad del proyecto.	Posibles penalidades, extensión del plazo contractual o incumplimiento de fechas clave.
	Se acumula un mayor número de horas trabajadas sin avance proporcional.	Baja eficiencia en el uso de los recursos técnicos por disciplina.	Acumulación de entregables sin terminar y desorganización operativa.

	Se sobrepasa semanalmente el presupuesto de horas	Incremento de la brecha entre lo ejecutado y lo ganado.	Retraso respecto al cronograma establecido.
Problema central	Ineficiente gestión de recursos técnicos		
Causas	Bajo rendimiento por entregable Aumento de 44 hh/unidad presupuestada a 66 hh/unidad ejecutada.	Alto consumo de horas respecto al valor ganado 5,122 hh gastadas vs 2,594 hh ganadas	Avance físico real menor al planeado 46.4% real vs 60.9% planeado

Nota. Elaboración propia

1.1.2. Formulación del Problema

¿Cómo mejorar la eficiencia del desempeño operativo en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuál es el nivel actual de eficiencia del desempeño operativo en los proyectos de ingeniería multidisciplinaria gestionados por la empresa?
- ¿Cuáles son las principales causas que generan ineficiencia del desempeño operativo en los proyectos en estudio?
- ¿Qué propuesta basada en Earned Value Management puede formularse para alinear el uso de recursos con el avance físico real del proyecto?
- ¿Cuál sería la relación beneficio-costos de implementar una propuesta basada en Earned Value Management?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Proponer una mejora en la eficiencia del desempeño operativo en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar el nivel actual de eficiencia del desempeño operativo en los proyectos de ingeniería multidisciplinaria gestionados por la empresa.
- Detectar las principales causas que generan ineficiencia en el consumo de horas-hombre en los proyectos en estudio.
- Formular una propuesta de mejora basada en la aplicación del método Earned Value Management (EVM) que permita alinear el uso de recursos con el avance físico real.
- Evaluar la relación beneficio-costos de la posible implementación de la propuesta basada en Earned Value Management.

1.3. Justificación del estudio

1.3.1. Justificación Práctica

La presente investigación es de vital importancia para mejorar la gestión del rendimiento técnico en proyectos de ingeniería multidisciplinaria, en los cuales la administración eficiente de horas-hombre resulta clave para cumplir con los entregables sin incurrir en desviaciones críticas. Actualmente, los proyectos presentan un bajo rendimiento reflejado en el incremento del consumo de horas y en valores desfavorables de CPI y SPI. La propuesta permitirá a los responsables de planificación y control de proyectos contar con una metodología estructurada y cuantificable para monitorear el uso de los recursos técnicos en tiempo real. Esto facilitará la toma de decisiones correctivas antes de que las desviaciones impacten la rentabilidad o el cronograma. Su implementación no requiere inversiones costosas en infraestructura, pero sí una reestructuración del enfoque de gestión. Con ello, se fortalecerá la capacidad de la empresa para controlar eficientemente sus proyectos, mejorar el desempeño operativo y consolidarse como un referente en ejecución técnica.

1.3.2. Justificación Social

El impacto social de esta investigación se manifiesta principalmente en los trabajadores del área técnica y de planificación. Mejorar la eficiencia del consumo de horas-hombre implica una redistribución más equitativa y racional del esfuerzo laboral, evitando sobrecargas, jornadas extensas o trabajo improductivo. Esto se traduce en condiciones laborales más sostenibles, reducción del estrés operativo y mejora del clima organizacional. Además, un proyecto bien gestionado contribuye al cumplimiento de plazos, lo que reduce la presión sobre el personal y fortalece la confianza del cliente y de otros grupos de interés. Indirectamente, también se benefician comunidades cercanas a las obras o clientes finales que dependen del cumplimiento de los cronogramas y presupuestos, ya que se reducen los riesgos de interrupciones, sobrecostos o demoras en la entrega de servicios.

1.3.3. Justificación Económica

Desde un enfoque económico, el proyecto de investigación busca mitigar el sobregiro de horas-hombre, uno de los factores que más eleva el costo total de ejecución de los proyectos. Al evidenciarse que el consumo real supera hasta en 50% lo presupuestado, se generan pérdidas económicas significativas que afectan la rentabilidad esperada. La aplicación del método Earned Value Management permitirá identificar a tiempo las desviaciones y optimizar la asignación de recursos, lo que puede traducirse en una reducción directa de los costos operativos. Asimismo, mejorar el desempeño en el uso de recursos técnicos contribuye a evitar penalidades contractuales y reclamos del cliente, generando ahorros indirectos. Finalmente, al incrementar el control económico del proyecto, la empresa podrá aumentar su margen de beneficio neto por contrato y mejorar su posición competitiva en licitaciones futuras.

1.3.4. Justificación Metodológica

La elección del método Earned Value Management como herramienta de mejora se justifica plenamente dado que permite integrar tiempo, costo y alcance en una única métrica de desempeño. A diferencia de los métodos tradicionales de seguimiento de proyectos, que se

limitan a comparar avances físicos y cronogramas, EVM permite analizar el valor real ganado en función de los recursos consumidos. Esto ofrece una ventaja metodológica clave para identificar brechas de productividad y anticiparse a posibles sobrecostos o retrasos. Además, se basa en fórmulas estandarizadas, fáciles de automatizar y comunicar, lo que mejora la transparencia y trazabilidad de los resultados. Su estructura sistemática permite realizar comparaciones objetivas entre lo planificado y lo ejecutado, fortaleciendo la capacidad analítica del área de planificación y haciendo que la propuesta sea aplicable tanto en esta empresa como en otros entornos industriales similares.

1.3.5. Justificación Profesional y/o personal

A nivel personal, esta investigación representa una oportunidad significativa para consolidar mis competencias profesionales en gestión de proyectos, planificación técnica y análisis de datos. Participar en el desarrollo de una propuesta que contribuye a optimizar el uso de recursos dentro de un entorno tan exigente como el de la ingeniería multidisciplinaria me permite aplicar de forma práctica los conocimientos adquiridos en mi formación académica. Asimismo, me posiciona como un profesional capaz de resolver problemas reales y complejos con base en herramientas cuantitativas, lo cual es valorado en cualquier sector industrial. Este trabajo me permitirá también aportar directamente a mi entorno laboral, generando un impacto tangible en la productividad de los equipos de trabajo y en la rentabilidad de los proyectos, a la vez que me proporciona una base sólida para futuras especializaciones en dirección o control de proyectos.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Delimitación temática

El presente estudio se enmarca en el campo de la Ingeniería, específicamente en el área de la Ingeniería Industrial. Se orienta a la línea de investigación de gestión de proyectos, mediante la aplicación del método Earned Value Management como herramienta de análisis de desempeño técnico y operativo en entornos multidisciplinarios.

1.4.2. Delimitación espacial

La investigación se desarrollará en el área de control de proyectos de una empresa de ingeniería y construcción ubicada en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, región Arequipa.

1.4.3. Delimitación temporal

La recolección de datos y el desarrollo de la propuesta se llevará a cabo durante un periodo máximo de 6 meses, comprendido entre los meses de agosto y enero de 2026.

1.5. Hipótesis

La propuesta de mejora en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management va a incrementar la eficiencia del consumo del desempeño operativo.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Variables

Variable independiente: Earned Value Management (EVM)

Variable dependiente: Eficiencia del desempeño operativo

1.6.2. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Aplicación del método Earned Value Management (EVM) <i>(Variable Independiente)</i>	- Planificación del Valor Ganado - Medición del Rendimiento - Control de Proyectos	- Planned Value (PV) = % Planificado × Costo total estimado - Earned Value (EV) = % Real × Costo total estimado - Actual Cost (AC) = Costo real hasta la fecha - CPI = EV / AC - SPI = EV / PV
Eficiencia del desempeño operativo <i>(Variable Dependiente)</i>	- Rendimiento por entregable - Índices de desempeño	- Variación de CPI y SPI - % de avance físico real respecto al planeado - Relación entregables completados vs. recursos

- Productividad del global de recursos	utilizados - Brecha entre horas planificadas y horas reales acumuladas
--	---

Nota. Se desglosan las dimensiones e indicadores

1.7. Planteamiento Metodológico

1.7.1. Diseño de la Investigación

Esta investigación se desarrollará bajo un diseño no experimental, ya que no se manipularán deliberadamente las variables del estudio, sino que se observarán tal como ocurren en su entorno real. La recolección de datos se centrará en el análisis retrospectivo y actual de proyectos multidisciplinarios reales gestionados por la empresa. El propósito es analizar los niveles de eficiencia del desempeño operativo y los indicadores de desempeño (CPI, SPI, EV, PV, AC), así como evaluar escenarios de mejora. Este diseño permite construir diagnósticos objetivos y estructurar una propuesta de intervención sin alterar los procesos naturales de ejecución de los proyectos. (Hernández et al., 2020).

1.7.2. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo aplicativo, ya que busca generar una propuesta técnica viable para resolver un problema específico de la empresa: la baja eficiencia en el consumo de horas-hombre. A través del análisis del comportamiento real de los proyectos y la aplicación de los principios del método Earned Value Management, se estructurará una propuesta de mejora alineada a las características del entorno operativo. El propósito no es solo comprender el fenómeno, sino brindar una herramienta que pueda ser incorporada al proceso de gestión de proyectos de manera práctica y medible (Hernández et al., 2020).

1.7.3. Nivel de la Investigación

Alcance: El estudio tendrá un alcance descriptivo, ya que se enfocará en caracterizar detalladamente las condiciones actuales del desempeño operativo, así como en identificar los niveles de eficiencia y desviaciones en el rendimiento técnico-operativo de los proyectos. A través de esta caracterización, se podrán reconocer patrones de consumo y desviaciones frente

al valor ganado esperado, proporcionando la base necesaria para la formulación de una propuesta de mejora sustentada. Este tipo de alcance permite obtener una comprensión técnica integral del fenómeno observado, sin necesidad de establecer relaciones causales estrictas (Hernández et al., 2020).

Enfoque: La investigación utilizará un enfoque mixto, que combinará herramientas cuantitativas y cualitativas. En el componente cuantitativo, se analizarán los indicadores de rendimiento clave del Earned Value Management (CPI, SPI, EV, PV, AC) a partir de datos históricos y actuales de proyectos reales. En el componente cualitativo, se realizará una exploración a través de entrevistas a actores clave del proceso (planners, jefes de disciplina, coordinadores) para conocer sus percepciones respecto a los factores que afectan el uso eficiente de horas-hombre. Esta triangulación permitirá obtener una comprensión más robusta del problema y de las posibles vías de solución (Hernández et al., 2020).

1.7.4. Método de la Investigación

El método deductivo permitirá aplicar principios generales y teóricos del Earned Value Management —ampliamente validados en la literatura de gestión de proyectos— al análisis de la situación específica observada en la empresa. A partir de estos fundamentos, se elaborarán instrumentos de recolección de datos, se analizará el comportamiento de los indicadores de rendimiento técnico y se construirá una propuesta de mejora basada en la evidencia recogida. Este método favorece una aproximación lógica, estructurada y coherente con la naturaleza de la Ingeniería Industrial (Hernández et al., 2020).

1.7.5. Levantamiento de información

1.7.5.1. Técnicas

- **Observación:** Se empleará para obtener información directa sobre el comportamiento real del consumo de horas-hombre en los proyectos. Se observarán documentos de planificación, reportes semanales, avances físicos y distribución de recursos técnicos. Además, se realizará observación presencial del proceso de seguimiento de proyectos.

- Entrevista: Se aplicará a personal clave del área de control de proyectos, como planners, jefes de disciplina y líderes de proyecto. A través de entrevistas semiestructuradas, se buscará identificar factores cualitativos que explican las desviaciones en la eficiencia de uso de horas-hombre, percepción del cumplimiento de plazos, criterios de seguimiento, y posibles barreras en la gestión técnica del recurso humano.

1.7.5.2. Instrumentos

- Guía de observación documental: Permitirá registrar la información contenida en archivos técnicos como: reportes semanales de horas-hombre, curvas de avance físico real vs planeado, reportes de CPI y SPI, matriz de distribución de recursos, y actas de coordinación. Esta guía incluirá indicadores clave como horas presupuestadas, horas reales, EV, PV, AC, y % de avance físico.
- Guía de observación presente: Será utilizada para realizar observaciones en tiempo real durante reuniones de control de proyectos, revisión de entregables y seguimiento de avances. Permitirá identificar dinámicas operativas, tiempos de revisión, formas de carga de información y herramientas utilizadas para el seguimiento.
- Guía de entrevista semiestructurada: Se diseñará con preguntas abiertas y temas clave como: percepción sobre el rendimiento del equipo técnico, causas de sobreconsumo de horas, cumplimiento de cronogramas, criterios de ajuste, control del valor ganado y posibles propuestas de mejora. Este instrumento permitirá adaptar las preguntas según el rol del entrevistado

1.7.6. Métodos de ingeniería a aplicarse

La presente investigación aplicará el método Earned Value Management (EVM) como herramienta principal para analizar y proponer mejoras en la eficiencia del consumo de horas-hombre. Este método permite calcular de forma integrada el avance físico del proyecto en función del costo y el tiempo, generando indicadores clave como el Cost Performance Index (CPI) y el Schedule Performance Index (SPI). Además:

- Se aplicará el análisis de variación de horas por entregable, para medir desviaciones unitarias entre lo planeado y lo ejecutado.
- Se utilizará el análisis beneficio-costo para evaluar la viabilidad económica de implementar la propuesta de mejora basada en EVM.
- Se considerarán criterios de la gestión de valor agregado, utilizando fórmulas estándar como:
 - $PV = \% \text{ Planeado} \times \text{Costo total estimado}$
 - $EV = \% \text{ Real} \times \text{Costo total estimado}$
 - $AC = \text{Costo real acumulado}$
 - $CPI = EV / AC$
 - $SPI = EV / PV$

Este enfoque ingenieril permitirá construir una propuesta estructurada, cuantificable y factible de ser aplicada en futuros proyectos multidisciplinarios.

1.7.7. Cobertura de estudio

1.7.7.1. Población

Está conformada por los proyectos de ingeniería multidisciplinaria ejecutados por la empresa en estudio en los últimos 12 meses

1.7.7.2. Muestra

Se aplicará una muestra censal de estos 12 meses las cuales abarcan 3 proyectos:

- Proyecto 1: Elaboración de Ingeniería Básica y Ingeniería de detalle para la construcción de una subestación eléctrica
- Proyecto 2: Elaboración de ingeniería básica y detalle cogeneración eléctrica con vapor residual para una fundición.
- Proyecto 3: Elaboración de ingeniería conceptual para un secador de concentrado.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

Qi et al. (2024) realizaron una revisión sistemática de los estudios relacionados con la productividad laboral en la construcción (CLP, por sus siglas en inglés), con el objetivo de identificar sus principales tendencias, desafíos y oportunidades. Para lograrlo, los autores utilizaron un enfoque metodológico mixto con predominancia cuantitativa, basado en el modelado de temas mediante Hierarchical Latent Dirichlet Allocation (HLDA), una técnica de minería de texto. El diseño fue no experimental y de alcance descriptivo-analítico, con enfoque computacional y método inductivo. Se analizaron 591 artículos académicos extraídos de bases de datos científicas, publicados entre 1973 y 2023. La metodología consistió en la recolección, depuración y modelado de textos académicos utilizando HLDA, lo cual permitió crear una estructura jerárquica de temas compuesta por tres niveles, identificando 3 temas principales y 26 subtemas. Los instrumentos fueron algoritmos de minería de texto, validación de palabras clave, análisis de frecuencias y posterior agrupación mediante procesos de muestreo y convergencia probabilística. La unidad de análisis fue el corpus textual de artículos académicos relacionados con CLP. Como resultados, se evidenció que los temas más recurrentes estaban asociados a la optimización del manejo de proyectos, modelos basados en datos, desempeño laboral, sostenibilidad, factores económicos y tecnológicos, así como al impacto del entorno y los cambios climáticos. En cuanto a las conclusiones, se comprobó que HLDA es una herramienta eficaz para identificar patrones ocultos y tendencias en la literatura académica, destacando que la mayor producción se concentra en la identificación de factores que afectan la productividad y en el uso de modelos predictivos como redes neuronales y teorías de curvas de aprendizaje. Este antecedente resulta sumamente relevante para la tesis titulada “Propuesta de mejora en la eficiencia del consumo de horas-hombre en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management”, ya que permite comprender cómo se ha estudiado la productividad laboral en entornos de construcción, qué factores son críticos, qué metodologías han demostrado ser efectivas y cómo el análisis sistemático de datos puede contribuir al diseño de propuestas de mejora. Además, refuerza la pertinencia del enfoque cuantitativo y del uso de herramientas de análisis técnico para abordar problemas complejos de eficiencia en proyectos de ingeniería, tal como lo plantea esta investigación.

Jiménez Salcedo (2021) aplicó la metodología del Earned Value Management (EVM) como herramienta para garantizar el seguimiento y control en proyectos de consultoría. Para ello, se desarrolló un estudio de caso con enfoque cualitativo, tipo descriptivo y método deductivo, centrado en un proyecto real de modernización de una planta de tratamiento de agua en Colombia. La metodología incluyó una revisión documental, encuestas aplicadas a gerentes de proyectos de una empresa contratista y la implementación del método EVM en un proyecto específico, analizando resultados por trimestre mediante indicadores clave como el CPI (Cost Performance Index) y el SPI (Schedule Performance Index). Los instrumentos utilizados incluyeron cuestionarios cerrados con justificación de respuestas, así como software especializado para el seguimiento de costos y cronogramas. La población de estudio estuvo compuesta por los gerentes de proyecto de la empresa contratista y el análisis se centró en los entregables de la consultoría para una planta pública. Las conclusiones demostraron que la aplicación del método EVM permitió integrar de manera efectiva las dimensiones de tiempo, costo y alcance, mejorando significativamente la toma de decisiones gerenciales, la predicción de desempeño y la planificación estratégica. Este antecedente es relevante para la tesis titulada “Propuesta de mejora en la eficiencia del consumo de horas-hombre en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management”, ya que proporciona un ejemplo exitoso y contextualizado del uso de EVM en el entorno de proyectos técnicos complejos, validando su aplicabilidad en contextos reales y su impacto en la eficiencia operativa y económica de los proyectos.

2.1.2. Nacionales

Malpica, Gil y Urcia (2023) determinaron el impacto de la aplicación del método de Gestión del Valor Ganado (EVM) durante la fase de ejecución de un proyecto de construcción de módulos de vivienda en el distrito de Laredo. Para ello, se adoptó un diseño cuasi-experimental con enfoque cuantitativo, nivel correlacional y se utilizó como método principal la observación científica. Los instrumentos empleados incluyeron una guía de observación y fichas técnicas de obra, las cuales se aplicaron sobre una muestra de 258 módulos seleccionados de un total de 1,048 viviendas proyectadas. El estudio permitió identificar desvíos importantes entre las líneas base planificadas y las ejecutadas, revelando un sobrecosto del 8.41% respecto al presupuesto inicial y una diferencia de 10 días en la duración del cronograma. Se concluyó que la falta de una Oficina de Gestión de Proyectos (PMO) y el uso de presupuestos no actualizados fueron

factores críticos en el incremento de costos y desviaciones. Asimismo, se demostró que la aplicación adecuada de EVM permite visualizar oportunamente los indicadores clave de desempeño ($CPI = 0.92$ y $SPI = 1.03$), permitiendo tomar decisiones correctivas que optimicen el control del alcance, tiempo y costos del proyecto. Este antecedente resulta altamente relevante para la tesis titulada “Propuesta de mejora en la eficiencia del consumo de horas-hombre en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management”, ya que valida empíricamente la eficacia del EVM como herramienta de control en proyectos complejos, permitiendo anticipar y corregir desviaciones que afectan la eficiencia en el uso de los recursos, lo cual constituye el eje principal del estudio propuesto.

Paipay (2024) diseñó una metodología del valor ganado para optimizar el desempeño de la instalación de puentes modulares. El estudio se desarrolló con un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, nivel correlacional y diseño cuasi experimental. La metodología se estructuró bajo cinco categorías definidas en la guía EIA-748-D: organización, planificación, consideraciones contables, análisis y revisión de datos. Para el recojo de datos se emplearon técnicas de observación directa, utilizando como instrumentos, listas de cotejo y formatos de reporte diario y mensual del personal y maquinaria. La unidad de análisis fue un proyecto real de instalación de un puente modular tipo BERD ubicado en Vilquechico, Puno, con una duración contractual de 60 días y un presupuesto de S/. 757,506.42. La muestra consideró procesos específicos como trabajos preliminares, subestructura, superestructura, accesos y señalización. Entre los resultados más relevantes, se comprobó que el desempeño sin metodología del valor ganado apenas alcanzaba un 11%, mientras que con la implementación de la propuesta metodológica se logró un 90% de cumplimiento. Esto se evidenció mediante indicadores como el SPI, CPI y el TCPI, junto con el análisis de las variaciones (SV, CV y VAC) y proyecciones (EAC y ETC). Este antecedente contribuye de manera significativa al desarrollo de la presente investigación titulada “Propuesta de mejora en la eficiencia del consumo de horas-hombre en proyectos de

ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management”, ya que demuestra la eficacia de la metodología del valor ganado en la gestión eficiente del tiempo y costo, validando su aplicación incluso en proyectos de corta duración y bajo presupuesto, tal como los que se presentan en entornos de ingeniería multidisciplinaria.

2.1.3. Locales

Valencia Rivera (2024) evaluó el rendimiento, el tiempo y el costo en obras públicas de carreteras aplicando el método del valor ganado del PMI en la ciudad de Arequipa. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo transversal y un alcance descriptivo.

Para ello, se empleó una metodología basada en la recopilación y análisis documental de datos técnicos de cuatro proyectos viales —dos de pavimento rígido y dos de pavimento flexible— ejecutados en distritos como Miraflores, Majes y José Luis Bustamante y Rivero. Los instrumentos utilizados fueron principalmente las curvas S de planificación, ejecución y liquidación financiera, además de parámetros clave como el SPI (Schedule Performance Index) y el CPI (Cost Performance Index), que permitieron cuantificar las desviaciones entre lo planificado y lo ejecutado. Entre las conclusiones más relevantes, se identificó que el 80% de los proyectos presentaron retrasos significativos y que el 60% incurrieron en sobrecostos, con una desviación promedio del 12%, evidenciando una deficiente coordinación entre planificación, ejecución y control financiero. Este antecedente es de suma importancia para la presente tesis titulada “Propuesta de mejora en la eficiencia del consumo de horas-hombre en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management”, ya que emplea la misma metodología del Valor Ganado y resalta cómo su implementación permite identificar desviaciones de costo y tiempo, facilitando una gestión más eficiente de recursos en proyectos complejos, como los de ingeniería multidisciplinaria.

Peña Riveros (2022) propuso una mejora en el control de proyectos en cuanto a tiempo y costos, aplicando la metodología del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM) en un proyecto de reubicación de zona de residuos peligrosos. El diseño de la investigación fue no experimental, de tipo transversal y con un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo. La metodología se implementó en una empresa de construcción y ejecución de proyectos que desarrollaba obras civiles, mecánicas y eléctricas. La recolección de datos se llevó a cabo mediante observación estructurada y descriptiva en campo, utilizando como instrumentos herramientas como Microsoft Excel para la tabulación y comparación de datos, Microsoft Project para el seguimiento del cronograma y S10 ERP para el control de costos. El estudio tomó como caso específico la ejecución del proyecto mencionado, el cual ya presentaba desviaciones importantes de tiempo y costo. A partir del mes tres del proyecto se implementó el método del Valor Ganado para calcular indicadores como CPI, SPI, EV, AC y PV, entre otros. Se concluyó que la metodología permitió identificar con precisión los desfases respecto al presupuesto y cronograma original, facilitando la toma de decisiones correctivas de manera oportuna. Asimismo, se logró optimizar la eficiencia operativa del proyecto, evitar mayores pérdidas económicas y prevenir la repetición de errores en futuros proyectos.

Este estudio es de gran utilidad para la presente investigación titulada “Propuesta de mejora en la eficiencia del consumo de horas-hombre en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management”, ya que aborda directamente la aplicación de EVM en proyectos multidisciplinarios, proporciona evidencia empírica sobre su efectividad y respalda el uso de indicadores clave de desempeño para mejorar el control del consumo de recursos.

2.2. Marco teórico conceptual

2.2.1. Proyecto de Ingeniería Multidisciplinaria

2.2.1.1. Definición de proyecto

Yang (2023) define un proyecto multidisciplinario de ingeniería como aquel que se basa en varias disciplinas y tiene una colaboración activa de Múltiples campos, todo en el esfuerzo de abordar problemas beneficiosos y proporcionar soluciones novedosas. Tal proyecto está estructurado como iniciativas temporales y aisladas e incorpora ingeniería estructural, eléctrica, mecánica, informática y de gestión para abordar problemas que requieren un enfoque integrado.

Yang continúa señalando que el Project Management Institute, PMI, también define un proyecto como un esfuerzo con un inicio y un final definidos, que tiene como objetivo alcanzar objetivos específicos, alcance, cronograma y costos. En el contexto industrial, esto significa formar equipos interdisciplinarios dentro de un único marco organizativo para alcanzar metas comunes definidas como diseñar plantas industriales, crear sistemas de energía integrados o construir infraestructuras inteligentes.

De manera similar, Morosan-Danila 2018 señala que un enfoque multidisciplinario de mejora, no solo la comprensión de los problemas técnicos, sino que también impulsa la innovación y mejora la efectividad en la implementación de soluciones en entornos complejos. Además, el autor enfatiza que el análisis de costo y beneficio es un enfoque principal en la evaluación del proyecto, porque muestra la viabilidad del proyecto y la eficiencia de la inversión interdisciplinaria, su eficiencia en el gasto dentro de Múltiples disciplinas.

En palabras más simples, Morosan-Danila añade que un proyecto de ingeniería es un emprendimiento que se diseña y se planifica con un único objetivo discreto que se logra bajo criterios técnicos, de calidad y de rendimiento definidos.

Jacobs (2017) añade que los proyectos multidisciplinarios requieren la participación coordinada de una serie de especialidades técnicas y profesionales. Para la práctica moderna,

esto incluye, pero no se limita a, ingeniería civil, mecánica, eléctrica, electrónica, de telecomunicaciones, de automatización y del medio ambiente, y otros campos relacionados. La idea es movilizar las habilidades especializadas de cada disciplina para abordar problemas que son demasiado complejos para ser tratados con un único enfoque.

Finalmente, Jacobs señala que la tendencia actual en la industria se caracteriza por un crecimiento sostenido en proyectos multidisciplinarios debido a la complejidad tecnológica, los requisitos regulatorios y la necesidad de soluciones holísticas. Como ejemplos representativos, el autor menciona:

- La construcción de hospitales inteligentes integrados con sistemas estructurales, eléctricos, HVAC, de automatización y de tecnología de la información.
- La instalación de parques solares que requiere coordinación multidisciplinaria de ingeniería eléctrica, civil, mecánica y ambiental.
- El diseño de plantas industriales automatizadas, incorporando ingeniería de procesos, control, instrumentación, seguridad industrial y gestión de datos.

2.2.1.2. Características de los proyectos multidisciplinarios

Sonnenberg-Klein et al. (2022) proyectan que los proyectos multidisciplinarios tienen características específicas que los diferencian de los proyectos monodisciplinarios, los cuales, debido a un mayor nivel de complejidad e integración, hacen que la coordinación sea más desafiante. Los autores señalan que para el contexto latinoamericano—y particularmente en el caso de Perú—la gestión de estos proyectos se ve obstaculizada por restricciones adicionales como variaciones en la interpretación regulatoria, desafíos logísticos en regiones remotas, y la presencia irregular de profesionales calificados.

En la misma línea, Engwall (2018) indica que las características más destacadas de los proyectos multidisciplinarios son la colaboración activa entre expertos, la flexibilidad

metodológica y la adaptabilidad a diferentes necesidades y contextos. Además, identifica un conjunto distintivo de características que describen la naturaleza de dichas iniciativas:

- Interdependencia técnica entre disciplinas, donde las decisiones tomadas en una especialidad impactan a otras. Por ejemplo, los elementos estructurales deben estar ubicados, y los sistemas de ventilación deben integrarse según el diseño eléctrico.
- Comunicación compleja que abarca grupos y requiere mecanismos de coordinación robustos para equipos heterogéneos.
- Gestión de riesgos compartidos, donde los problemas que surgen en una disciplina pueden causar retrasos y, en algunos casos, sobrecostos para todo el proyecto.
- Enfoque de planificación y control integrado, que emplea herramientas como la Estructura de Desglose del Trabajo (WBS) para organizar los entregables de cada disciplina.
- Complejidad organizativa muy alta, particularmente en el contexto peruano, donde los marcos regulatorios locales, las restricciones logísticas y una amplia gama de disponibilidad de recursos deben ser integrados.

Por su parte Engwall (2018) también señala que la complejidad de implementar proyectos multidisciplinarios en entornos intrincados exige más que cumplir con los requisitos técnicos de gestión. También debe facilitar la colaboración efectiva entre diferentes disciplinas y asegurar que las soluciones propuestas estén adecuadamente adaptadas al contexto local.

2.2.1.3. Fases de ejecución y control

Siguiendo el razonamiento de Atout (2019), la gestión de un proyecto multidisciplinario debe desarrollarse en fases claramente definidas que permitan una planificación, ejecución, monitoreo y cierre ordenados. El autor afirma que este marco secuencial es de primordial importancia para mantener la coherencia entre los objetivos iniciales y los resultados finales, particularmente en entornos complicados.

Estas fases, según lo señalado por Atout (2019), incluyen:

- Inicio, donde se define el alcance, se identifican a los interesados y se crean documentos fundamentales.
- Planificación integrada, donde se crean cronogramas maestros, se estiman recursos por disciplina y se establecen presupuestos y plazos.
- Ejecución y control simultáneo, que implica el monitoreo de actividades específicas de la disciplina, capturando el progreso, registrando costos y probando la calidad de los resultados.
- Monitoreo multivariable, en el que se mide continuamente el progreso físico y el gasto de recursos en comparación con las líneas base establecidas.
- El cierre incluye la entrega final del proyecto, la evaluación del rendimiento, la recopilación de lecciones aprendidas y la integración final de toda la documentación técnica.

El mismo autor enfatiza que la comunicación efectiva entre los equipos es crucial en todos los niveles porque asegura que cualquier decisión técnica y operativa tomada estará en cumplimiento con la estrategia general del proyecto.

Khalafy et al. (2023) presentan un caso representativo en la modernización de la refinería de Talara en Perú. Este proyecto integró simultáneamente una serie de disciplinas como la ingeniería de procesos, mecánica, eléctrica, civil, industrial y ambiental. Se gestionó con un estricto control de valor ganado. Este enfoque logró la integración del control de costos, cronograma y alcance, asegurando que el proyecto estuviera equilibrado a medida que avanzaba.

2.2.2. Horas-Hombre

2.2.2.1. Concepto de hora-hombre

Kikuchi (2017) define hora-hombre como una medida del trabajo realizado por una persona dentro de un proyecto específico en una hora particular. Es una medición que se puede utilizar

para objetivos que requieren planificación y monitoreo de los recursos a utilizar. Aprender a gestionar esta medida adecuadamente ayuda a mejorar la asignación de recursos y la eficiencia, al tiempo que se logra una mejor ejecución del proyecto en diferentes disciplinas.

En ingeniería, una hora de trabajo se utiliza como una medida estándar de tiempo para estimar, rastrear y evaluar el trabajo en progreso. Es, como señaló Kikuchi (2017), importante estimar el número de personas, así como medir los recursos humanos necesarios para participar en el proyecto y la productividad esperada del proyecto, y el valor anticipado que se entregará a los interesados.

Ese mismo autor da tres razones sobre la medida precisa de la hora-hombre en el trabajo del proyecto:

- Como un componente de gestión de proyectos, contribuye a la preevaluación para determinar la viabilidad de un proyecto, lo cual es fundamental en la selección de proyectos, la asignación de recursos en la fase de preimplementación y la planificación del calendario.
- Rastrear los costos laborales durante la fase de presupuestación puede ser útil para identificar áreas de gestión del tiempo y asignación de recursos que requieren mejora.

Gestionar las variaciones entre los números planificados y los resultados reales garantiza que la organización se gestione de manera eficiente y sostenible, particularmente en entornos multidisciplinarios complejos.

2.2.2.2. Estimación y presupuestación de horas

Bajo el argumento de Suginishi y Chida (2019), estimar con precisión las horas-hombre que se deben trabajar es crucial para crear presupuestos realistas para los proyectos y lograr una planificación efectiva. Los recursos deben ser asignados de manera óptima para garantizar el cumplimiento de los plazos. El autor advierte que una estimación inexacta puede resultar en

costos significativos y retrasos. Esto afecta el rendimiento general del proyecto y la satisfacción de los interesados.

Además, Suginishi y Chida elaboran que al estimar las horas-hombre se debe tener en cuenta la experiencia del equipo y la complejidad del proyecto porque esos elementos son críticos para la viabilidad y eficiencia de la ejecución. Distinga entre tipos de estimación para este propósito:

- Estimación análoga: Esta es cuando se realiza una estimación basada en datos históricos de proyectos similares. Esto permite a la organización aprovechar experiencias pasadas para pronosticar con precisión el esfuerzo necesario y planificar de manera realista.
- Estimación paramétrica: Se trata de una estimación más concreta como la cantidad de planos realizados por hora de manera más flexible tu su (horas específicas) en el caso de la instalación de metros de cableado.
- Estimación bottom-up: Se refiere al hecho de agregar una estimación de tiempo a cada tarea en la que se detalla en un desglose que se puede agregar a cada uno de sus subniveles, de modo en que, al sumar los tiempos por nivel, se puede generar un cronograma más específico y personalizado.

Los autores indican que, en el caso de equipos interdisciplinarios, la colaboración se vuelve crítica. Por un lado, la relación de dependencia está sujeta a interdependencia de un trabajo a un nivel más global, pues que, si se toma en cuenta el tiempo global por fuera de cada actividad, se pueden estar sobrestimando micromódulos. También consideran que, por un lado, un enfoque histórico o benchmarking y, por otro, un enfoque bottom-up son de gran ayuda en caso de que la tarea sea de carácter interdisciplinario (está compuesta de muchas sub-tareas que son diferentes entre sí).

Hoy en día, con herramientas como los cronogramas detallados en MS Project, el Primavera P6 o el Jira, es posible en todos los casos registrar, comparar, así como también analizar, de

manera más detallada, las horas que se planearon, las estimadas, y las que en la realidad se llevaron a cabo, esto permite a los gestores un control más estricto y la corrección de errores en etapas más tempranas que antes (Suginishi & Chida, 2019)

2.2.2.3. Rendimiento por entregable y eficiencia técnica

Como indican Kovalenko y Stanislavyk (2020), la evaluación del rendimiento por entregable es un pilar de la determinación de la eficiencia de un proyecto multidisciplinario y de la eficiencia técnica de cada disciplina en términos de objetivos y estándares de calidad. Esta eficiencia se puede medir mediante indicadores clave de rendimiento (KPI) que relacionan los entregables completados con las horas-hombre utilizadas.

En términos numéricos, los autores describen la eficiencia técnica como:

- La eficiencia del rendimiento técnico se define como la relación de entregables completadas a horas-hombre gastadas, en términos matemáticos:

$$\text{Eficiencia técnica} = \frac{\text{Entregables cumplidos}}{\text{Horas-hombre utilizadas}}$$

Esta métrica ayuda a rastrear situaciones que muestran baja eficiencia, que a veces pueden estar vinculadas a un gasto excesivo debido a un esfuerzo excesivo, así como situaciones de alta eficiencia que pueden indicar la necesidad de optimizar el gasto de recursos. Por lo tanto, debe haber referencias para el tipo de salida de trabajo y clase entregada para que los costos trabajados se puedan medir en comparación con otros períodos de tiempo con el fin de anticipar cambios en los costos laborales.

Kovalenko y Stanislavyk (2020) han afirmado que la utilización de recursos y la efectividad en la ejecución de tareas se pueden mejorar con la optimización como función del análisis. Por ejemplo, en el caso de diseño de diagramas eléctricos para un hospital, si la estimación fue de 500 horas-hombre y el registrado fue de 650, entonces la eficiencia sería del 77%. Hay evidencia en el caso descrito anteriormente de un consumo excesivo significativo de recursos con la corrección de una mejor coordinación de tareas y ajustes en la distribución.

Además, los autores proporcionan evidencia de que cubrir este indicador de manera continua no solo ayuda a evaluar la producción de cada área de trabajo, sino que también ayuda en la formulación de mejores estrategias de colaboración para trabajos futuros. Hoy en día, el uso de plataformas de software colaborativo y basado en proyectos como MS Project, Primavera P6, o incluso Jira mejora la supervisión del trabajo, ya que permiten el monitoreo en tiempo real y la emisión de alertas automáticas en caso de detectar desviaciones significativas respecto a los parámetros establecidos, permitiendo así una gestión proactiva y una mejora continua

2.2.3. Eficiencia Operativa en Proyectos

2.2.3.1. Definición de eficiencia operativa

Como sugiere Muralidhar (2018), la eficiencia operativa en un proyecto se define como lograr el resultado deseado con la inversión óptima de recursos, manteniendo la calidad requerida y completando el trabajo dentro del plazo. Esto es más pronunciado en proyectos multidisciplinarios donde la programación y coordinación de recursos humanos, materiales y de tiempo es crítica para gestionar costos, acortar plazos y mejorar la satisfacción de las partes interesadas.

Señala Muralidhar que, la eficiencia operativa se logra a través de la asignación óptima de recursos discrecionales dentro del proyecto. Implica un enfoque calculado que evalúa la proporción de recursos voluntarios hacia un proyecto como esfuerzo, y los recursos gastados contrastados con el rendimiento logrado, en forma de salida del proyecto. Además, la supervisión del tiempo y el costo, especialmente en proyectos técnicos, suele estar controlada de manera estricta. El autor argumenta además que las políticas impulsadas por la eficiencia tienen un aumento notable en la adaptación enfocada en el ritmo a los cambios y la optimización enfocada en los resultados, especialmente con el uso de metodologías ágiles combinadas con una comunicación interequipos autónoma y efectiva entre equipos multidisciplinarios.

De este modo, Muralidhar sostiene que la aplicación consistente de estrategias de eficiencia operativa mejora no solo la ejecución técnica de un proceso, sino más, para todos los interesados, costos y plazos de manera medible.

2.2.3.2. Factores que afectan la eficiencia en el consumo de horas-hombre

De acuerdo con Szejniuk (2019), hay muchos factores que impactan la eficiencia con la que se consume las horas-hombre en un proyecto determinado. Estos incluyen, la complejidad del trabajo, la experiencia de la fuerza laboral, la gestión del trabajo y el tiempo, y la claridad de comunicación.

- Aumentar la comprensión, por ejemplo, a menudo es una inversión que consume tiempo y es costosa en muchos sistemas complejos.
- Menos eficiencia con la que se ejecutan los factores definidos también impacta en la efectividad de la manera en que Muralidhar describe con más detalle.
- Una mala ejecución de los criterios de programación para el trabajo lleva a actividades ociosas y redundantes. La falta de experiencia adecuada en el equipo es uno de los factores que contribuyen a la reducción del trabajo realizado en la entidad en términos de la proporción de productividad del trabajo realizado a horas de trabajo.
- Las demoras en el envío de material fuera de lo programado o actividades logísticas que suspenden el trabajo de las tripulaciones sin un valor agregado, lo cual se considera hacer un trabajo con valor agregado. Desde una perspectiva de gestión de proyectos, el enfoque en la agilidad puede apuntar a resolver estos problemas con más éxito porque mejora la flexibilidad y el trabajo interdisciplinario.
- Las brechas que resultan de una integración inadecuada dentro de los equipos conducen a la redundancia de esfuerzos, falta de coordinación y duplicación de trabajo. Diferentes partes de un sistema necesitan funcionar sin problemas dentro de

una estructura única y unificada. La gestión de proyectos ágil ha sido efectiva en fomentar la colaboración y la comunicación en entornos multidisciplinarios, lo que mejora la eficiencia operativa.

- Un nuevo equipo interno o externo dentro de una empresa tiene nuevos miembros que a menudo carecen de la especialización requerida. La formación continua mejora el conocimiento y las habilidades que, cuando se combinan con la experiencia laboral, son esenciales para mejorar el rendimiento y la competencia en cualquier tarea.
- Los cambios en el alcance, las especificaciones o el diseño generalmente conducen a un retrabajo significativo.

El autor destaca que estos factores, cuando se identifican y evitan o mitigan de manera inteligente, pueden mejorar significativamente la eficiencia del proyecto y el éxito general. Sin embargo, estudios recientes en América Latina sugieren que una falta significativa de planificación junto con una mala coordinación interdisciplinaria sigue siendo algunas de las principales brechas en la planificación interdisciplinaria para sobrecostos y retrasos en proyectos de construcción. Esto indica la necesidad de un enfoque de gestión integral.

2.2.3.3. *Productividad y relación esfuerzo–avance*

Según Para Gupta y Mahapatra (2021), la correlación entre la cantidad de trabajo invertido y los resultados alcanzados es una medida importante de la productividad en un proyecto multidisciplinario. Tener métricas precisas para esta relación es útil para diagnosticar y resolver problemas para mejorar la asignación de recursos.

Los autores definen la productividad con la siguiente ecuación:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Progreso físico}}{\text{Horas-hombre consumidas}}$$

Este indicador conduce directamente al Índice de Desempeño de Programación (SPI) y al Índice de Desempeño de Costos (CPI) también. Un SPI inferior a uno indica que el progreso está rezagado respecto al progreso de consumo de referencia. Del mismo modo, un CPI inferior a uno indica que hay un consumo de horas excesivo en relación con el progreso alcanzado.

Ambos autores también señalan que el diseño de las estrategias de mejora de la eficiencia operativa debe incluir el uso de metodologías ágiles y una integración efectiva de equipos interfuncionales. Este enfoque también ayuda a reducir costos y tiempo, al tiempo que fomenta una cultura colaborativa que puede transformar la industria y mejorar la calidad general del proyecto

2.2.4. Earned Value Management (EVM)

2.2.4.1. Fundamentos y estructura del EVM

Bajo la explicación de Zhao y Zi (2021), los sistemas de Gestión de Valor Ganado (EVM) son un método de gestión de proyectos utilizado para la evaluación simultánea del rendimiento, costo y cronograma, y proporciona una visión integral del progreso. El método se realiza a través del análisis de tres variables principales: el valor ganado (EV), el costo real (AC) y el valor planificado (PV), y apoya la toma de decisiones a través de una visión estratégica mientras asegura el control de la ejecución.

Así mismo los autores enfatizan que, el EVM es un gran beneficio para proyectos multidisciplinarios, en los cuales el rigor profesional y la interdependencia entre las diferentes secciones tienden a hacer que el seguimiento del rendimiento sea muy difícil a un nivel granular. Esta herramienta permite un seguimiento integral del rendimiento al combinar mediciones de alcance, cronograma y costo, lo que permite predecir brechas de rendimiento y refinar la utilización de recursos hacia una mayor eficiencia operativa en entornos de alta demanda.

- PV (Valor Planificado): el valor programado del trabajo.
- EV (Valor Ganado): el valor del trabajo completado.

- AC (Costo Real): costo incurrido.

Zhao y Zi explican que basado en el rendimiento real, se puede estimar el rendimiento futuro esperado del proyecto, la fecha de finalización y el costo total utilizando EVM.

2.2.4.2. Indicadores clave: PV, EV, AC, CPI, SPI

Para Oktrianto y Susetyo (2020), la adecuada implementación de la Gestión del Valor Ganado (EVM) no solo permite un control exacto de costos y tiempos, sino que también ayuda a mejorar la integración colaborativa de diversas disciplinas, algo que resulta crítico para el éxito en proyectos de gran envergadura y complejidad. El sistema en su conjunto permite optimizar el control y mejora la planificación, la utilización de recursos, y la satisfacción de las partes interesadas en contextos multidisciplinarios, donde la coordinación resulta vital.

Los autores mencionan que con EVM se cuenta con métricas para juzgar el desempeño de un proyecto de manera objetiva.

- PV (Valor Planificado): se refiere al presupuesto de un proyecto, a la fecha de corte debe reflejarse el costo del trabajo que se debía ejecutar, dicho sea de paso, su combinación con modelos ágiles podría aumentar la adaptabilidad y eficiencia, impactando positivamente en el nivel de satisfacción de los grupos de interés.
- EV (Valor Ganado): representa el valor monetario del trabajo realizado por una empresa y su valor final ganado al completar hitos determinados. Diferentes estudios y aplicaciones prácticas han demostrado que su aplicación ha resultado extremadamente beneficiosa para los ingenieros en la mejora de la gestión y control del tiempo y costos, además de mejorar la eficiencia operativa en entornos complicados.
- AC (Costo Real): representa el gasto total que se ha incurrido por el trabajo realizado. Este indicador, si se controla correctamente, ayuda en la captura oportuna

de desviaciones y asiste en movimientos estratégicos oportunos para el control de un cierto proyecto.

- IPC (Índice de Rendimiento de Costos): es el resultado de esta combinación cuando CEV se divide por AC. Si los retornos y AC están por encima de 1, entonces hay eficiencia positiva, y si los retornos están por debajo, entonces hay una pérdida.
- SPI (Índice de Rendimiento de Cronograma): este también es el resultado de una combinación cuando EV se divide por PV. Si los resultados están por encima de 1, entonces ha habido un avance positivo en comparación con el tiempo de trabajo dado, y si está por debajo, ha habido un retraso en el trabajo realizado.

En esta misma línea, Oktrianto y Susetyo (2020) enfatizan cómo el uso de EVM en proyectos técnicos avanzados es crítico para la eficiencia operativa y el control de costos, la optimización de recursos y la garantía de una mejor alineación de los objetivos multidisciplinarios. Además, este método ayuda a monitorear el progreso del proyecto, gestionar las solicitudes de cambio y gestionar los cronogramas del proyecto.

Stasinos et al. (2020) argumentan además que el EVM, cuando se utiliza correctamente, transforma el paradigma de gestión de proyectos multidisciplinarios porque convierte actividades intrincadas y multifacéticas en algo que es cuantificable y medible. Esta perspectiva facilita el seguimiento del progreso del proyecto, la detección temprana y la resolución proactiva de riesgos y problemas. Cuando se ejecuta con disciplina, la metodología mejora no solo las etapas de planificación y control, sino también la asignación estratégica de recursos, mejorando así la satisfacción de los interesados.

Estos autores afirman que la incorporación sistemática de estos indicadores en proyectos de construcción e ingeniería mejora la transparencia, mejora la comunicación entre las partes positivas y promueve la toma de decisiones basada en datos objetivos. Sin embargo, estos autores también advierten que en algunos campos, particularmente en la construcción, su

metodología no se aprovecha completamente debido al lento ritmo de adopción de estas metodologías en la industria.

- El CPI (Índice de Rendimiento de Costos) se calcula como EV dividido por AC.
- El SPI (Índice de Rendimiento de Cronograma) se calcula como EV dividido por PV.

Ejemplo:

- Se presenta en un proyecto de instalación eléctrica:
- PV = 200,000 USD
- EV = 180,000 USD
- AC = 210,000 USD
- Entonces, se puede calcular de la siguiente manera:
- $CPI = 180,000 / 210,000 = 0.86$, lo que significa sobrecostos.
- $SPI = 180,000 / 200,000 = 0.90$, lo que significa retrasos.

Según Oktrianto y Susetyo (2020), este tipo de análisis ayuda a los gerentes a tomar acciones correctivas inmediatas, como reasignar recursos, cambiar los cronogramas de entrega o modificar los plazos.

2.2.4.3. *Ventajas del EVM en la gestión de proyectos técnicos*

Jahanger et al. (2022) piensan que la implementación efectiva de metodologías de gestión como la Gestión del Valor Ganado (EVM) mejora y agiliza la eficiencia y la transparencia en proyectos multidisciplinarios, especialmente en construcción donde los costos y plazos son cruciales. Además de la visibilidad del proyecto, el monitoreo y control del rendimiento del proyecto mejora y se identifican áreas críticas y se realizan ajustes proactivos, lo que ayuda en la estrategia y en el logro de objetivos. Esto ayuda a mejorar la gestión de recursos y aumenta la satisfacción de los grupos de interés.

Los autores destacan los siguientes beneficios clave:

- La gestión efectiva de recursos mejora las posibilidades de entrega exitosa de proyectos complejos y aumenta la satisfacción general de las partes interesadas.
- Intervención proactiva en la gestión de recursos y resolución de problemas para evitar problemas potenciales en la gestión de recursos y resolución de problemas para evitar problemas potenciales.
- Proyecciones precisas de estimaciones de costos (EAC) y fechas de entrega (EAF) son críticas para mejorar flujos de trabajo operacionales y la asignación de recursos en entornos multidisciplinarios complejos.
- Mejora la colaboración con partes interesadas utilizando métricas de datos reales y fomenta la colaboración entre disciplinas con informes claros y racionalizados.

En esta línea, Proaño-Narváez et al. (2022) muestran en su argumento que, el uso de EVM en la gestión técnica de proyectos mejora el control del gasto, lo que permite una toma de decisiones más estratégica a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Los autores destacan que tener una vista integrada del alcance, presupuesto y calendario, mejora en gran medida la administración de recursos y aumenta la probabilidad de éxito en iniciativas de gran envergadura y complejidad. También, resaltan que el control a tiempo de las variaciones de costo (CV) y de plazo (SV) brinda una alerta temprana sobre problemas emergentes y permite correctivos de forma inmediata.

Proaño-Narváez et al. (2022) señalan algo que a priori tiene más importancia: la confiabilidad de las predicciones de costo y fecha de culminación, sobre todo cuando la estimación se hace con base en la metodología de EAC y el comportamiento de parámetros como el CPI y el SPI. Asimismo, hacen énfasis en el costo de la baja transparencia y control documental y el perjudicial impacto que la falta de ejercicio de la EVM tiene en la trazabilidad del proyecto.

Bonato et al. (2019) contribuyen a la discusión anterior señalando que, en los últimos años, la implementación de EVM ha incorporado características más avanzadas como el aprendizaje estadístico y la simulación de Monte Carlo. Esta adición mejora la estimación del factor de incertidumbre en proyecciones, lo que lleva a estimaciones más precisas del costo y tiempo del proyecto. Los autores argumentan que estas innovaciones han fortalecido el valor de la EVM como técnica de control de proyectos en la que se confía en gran medida, especialmente en proyectos multidisciplinarios donde la realización de objetivos impulsados por fondos y tiempo es crucial.

2.2.5. Indicadores de Desempeño

2.2.5.1. Definición de indicadores técnicos en proyectos

Como mencionan Shi et al. (2021), los indicadores técnicos son muy útiles para medir el desempeño y evaluar la efectividad de un proyecto, porque permiten realizar ajustes y mejoras de manera continua en los procesos. En proyectos de carácter multidisciplinario, su aplicación es crucial, pues ayuda en la optimización de los recursos y mejora la operativa del proyecto. Esto es porque contribuye a la detección de procesos y áreas que cuentan con un ciclo de mejora continua.

Estos autores mencionan que los indicadores técnicos permiten evaluar el avance de un proyecto en su cúspide y medir su éxito en tres dimensiones: calidad, costo y tiempo. En el marco de control, son esenciales, porque permiten evaluar el progreso real en la ejecución de las actividades, identificar la existencia de desviaciones con respecto a lo planeado y determinar las acciones correctivas que en su caso debe tomar.

En la ingeniería, Shi et al. (2021) muestran que los indicadores más empleados son los que siguen:

- Avance físico porcentual, que mide el avance logrado en comparación al total de actividades que se debían realizar. Controlar este indicador ayuda al cumplimiento

de estándares de calidad en proyectos multidisciplinarios, brindando un valor eficiente, mejorando siempre y optimizando los recursos.

- Productividad de mano de obra, que mide el desempeño que presenta el recurso humano. Este ayuda a mejorar la organización de actividades y en el control de tareas, eliminando tiempos improductivos y mejorando la eficiencia total.
- Índices CPI y SPI del EVM, son importantes en la medición de la eficiencia de costos y el cumplimiento del cronograma. Si estos indicadores se gestionan adecuadamente, se asegura la eficiencia operativa y se puede mejorar la planificación y la relativa a la toma de decisiones en la gestión de proyectos.
- Tasa de defectos o retrabajos. Este indicador mide el impacto de errores que el trabajo de calidad debe ejecutarse dentro de los plazos y costos de un proyecto. Generalmente, un valor alto en este indicador está asociado a la baja de la eficiencia y ganancia, teniendo que reforzar los controles de calidad.
- Evaluando un proyecto por medio de una lista de verificación, solo se garantiza que se cumplan todos los requisitos que se especificaron en el diseño o contrato entregado por el cliente. Este indicador permite que se cumplan los plazos establecidos, el presupuesto y, lo más importante, la calidad y funcionalidad que se exige.

A su vez, Shi et al. (2021) mencionan que el uso correcto de estos indicadores permite no solo controlar el desempeño de un proyecto, sino que también fomenta la optimización de los procesos, el uso eficiente de los recursos y la generación de valor para todos los interesados.

2.2.5.2. Análisis de rendimiento con CPI y SPI

Para Ballesteros-Pérez et al. (2019) y El Touny et al. (2021), evaluar el desempeño usando los indicadores CPI (Índice de Desempeño de Costos) y SPI (Índice de Desempeño de Cronograma) brinda una clara imagen del avance y permiten identificar, con buena

anticipación, señales anómalas que se puedan rectificar antes de que se conviertan en problemas serios. Responden a preguntas muy relevantes para la dirección tales como:

- ¿Se está haciendo más esfuerzo del que está planeado? ($CPI < 1$).
- ¿Hay retraso en la ejecución comparado con la fecha programada? ($SPI < 1$).

Los autores sugieren que estos índices deben ser controlados en una revisión aparte, al menos semanalmente y a nivel de entregable. Esto ayuda a evitar incumplimientos causados por retrabajo, ineficiencias o mala planificación y asegura una ejecución más controlada.

En este sentido, Dongrey (2022) indica que el uso de indicadores técnicos como el CPI y el SPI es necesario para mejorar cualquier proyecto dado, ya que ayuda a identificar áreas específicas que se pueden mejorar para garantizar los estándares de calidad establecidos. Los indicadores de gestión de proyectos están diseñados y destinados a mejorar la eficiencia operativa y la calidad de la empresa, y de esta manera asegurar que las decisiones en cada nivel de la empresa, especialmente en proyectos transversales y multifacéticos, multidisciplinarios y altamente complejos, sean basados en hechos y objetivos.

En este sentido Dongrey señala que el análisis combinado de estos índices proporciona un análisis de 'salud' del proyecto de la siguiente manera:

- $IPC > 1$ y $SPI > 1$ → el proyecto es eficiente y está adelantado con respecto al cronograma.
- $IPC < 1$ y $SPI < 1$ → refleja ineficiencia y estancamiento.
- $IPC > 1$ y $SPI < 1$ → refleja eficiencia en costos, pero retraso en el cronograma.
- $CPI < 1$ y $SPI > 1$ → indica que el proyecto se entrega con retraso y sobrecostos.

Estos indicadores permiten hacer un seguimiento más detenido de los proyectos al proporcionar información exacta, de tal manera que los problemas puedan ser solucionados con las medidas necesarias en el momento indicado.

2.2.5.3. Control del valor ganado y su interpretación

De acuerdo con Kravchyk y Ostapchuk (2023), entender correctamente los indicadores de desempeño de un proyecto es un elemento fundamental para conseguir su efectividad, ya que permite la toma de decisiones informadas y la mejora continua. Una comprensión adecuada de los indicadores, como el Índice de Rendimiento de Costos (CPI) y el Índice de Rendimiento de Cronograma (SPI), permite a los directivos identificar y atender áreas prioritarias y realizar cambios proactivos en su planificación y ejecución.

Idénticamente, esos mismos autores destacan que la implementación de enfoques de práctica eficientes de la operación puede, de forma autónoma, reducir de forma directa a todas las partes interesadas los costos y el tiempo en la ejecución de proyectos multidisciplinarios. En su marco, el control del valor ganado (EVM) surge como una herramienta estratégica que apoya la toma de decisiones operativas, tales como:

- Reasignar personal y redistribuir las horas laborales en función de las necesidades del proyecto para mejorar la adaptación a las condiciones del mismo.
- Utilizar enfoques de administración que mitiguen el impacto de los retrasos en el cumplimiento de las fechas límite, como la aceleración controlada del cumplimiento de las actividades críticas.
- Negociar cambios de alcance para minimizar impactos en tiempos y costos conservando la coherencia del plan preestablecido.
- Promover la disposición y flexibilidad del equipo para mitigar cambios imprevistos o sucesos comunes en la ingeniería.

Afirmando que el control del valor ganado es una práctica muy importante para mantener la salud del proyecto, permitiendo la detección temprana de problemas y la recalibración de la estrategia de ejecución en tiempo real, Ngo et al. (2022) estuvieron de acuerdo en su propia

idea. Ajustar el control fortalece la gobernanza, impulsa la mejora continua y asegura que los recursos se utilicen de manera óptima mientras se mantiene la calidad de los entregables.

En la opinión de Ngo et al. (2022), el uso de EVM permite el cálculo de la variación de costos ($CV = EV - AC$) y la variación de cronograma ($SV = EV - PV$), que, al ser analizados, proporciona información valiosa para decidir sobre la reasignación de recursos, la reestructuración de la aceleración de las actividades de la ruta crítica o la modificación controlada del alcance del proyecto. Además, señalan que parece haber una tendencia creciente a combinar estos indicadores con el Complementario Earned Schedule (ES), que, a diferencia del SPI tradicional, ofrece mediciones más estables del rendimiento temporal durante las fases iniciales del proyecto cuando las fluctuaciones de tiempo pueden no representar con precisión el progreso.

2.2.6. Análisis Costo-Beneficio en Ingeniería

2.2.6.1. Definición de análisis beneficio-costo

Según Morosan-Danila (2018), en ingeniería, la metodología del análisis costo-beneficio (ACB) sirve para evaluar la viabilidad económica de un proyecto mediante la evaluación sistemática de todos los costos y beneficios del proyecto. Este proceso intenta dar una respuesta de sí o no a si un proyecto es económicamente viable, junto con otros factores sociológicos y ambientales para asegurar la sostenibilidad y responsabilidad.

El autor explica que un análisis costo-beneficio efectivo necesita incorporar y equilibrar tanto factores cuantitativos (valor monetario asignado a los entregables del proyecto, ahorros de energía y mejoras técnicas) como factores cualitativos, que incluyen la huella social y ambiental del proyecto en la sociedad. Este enfoque produce un análisis integral adecuado y ayuda en la toma de decisiones informadas, la asignación eficiente de recursos y la maximización del ROI.

En conclusión, Morosan-Danila (2018) argumenta que el ACB es una herramienta crucial para determinar si los beneficios proyectados superan los costos al confirmar que los proyectos

técnicos en cuestión son sólidos desde una perspectiva económica junto con el razonamiento social y ambiental

2.2.6.2. Componentes del análisis económico en proyectos

Según Morosan-Danila (2018), el análisis económico de un proyecto necesita tener en cuenta algunos componentes clave para evaluar su viabilidad y economizar el uso de los recursos disponibles. Algunos de estos incluyen:

- Costos directos que incluyen: horas-hombre, materiales, equipos y subcontrataciones, que constituyen los gastos que están directamente asociados con la implementación del proyecto.
- Costos indirectos, que incluyen: costos de gestión, logística, garantía y contingencia. Estos se consideran costos indirectos porque, aunque no están directamente vinculados a una tarea específica, son cruciales para la ejecución del proyecto.
- Beneficios, que pueden ocurrir como una reducción en costos operativos, mejora en la eficiencia, aumento en la generación de ingresos o mejoras en las contribuciones a la sostenibilidad.
- Parámetros financieros, incluyendo: tasa de descuento, periodo de análisis y sensibilidad a cambios en variables de valor crítico que evalúan la proyección de ganancias mientras se evalúa la resiliencia económica del proyecto bajo diferentes escenarios.

El autor subraya que un análisis exhaustivo y bien estructurado de estos componentes permite a los ingenieros tomar decisiones estratégicas, racionalizar inversiones y asegurar que los proyectos sean económicamente viables y ambientalmente sostenibles a largo plazo.

2.2.6.3. Aplicación en la evaluación de propuestas técnicas

De acuerdo con Morosan-Danila (2018), la aplicación de una evaluación de costo y beneficio (ACB) en la revisión de propuestas técnicas ACB la evaluación de propuestas técnicas AC es un paso muy importante para asegurarse de que los recursos se utilicen

técnicamente en la opción más ventajosa y eficiente. Óptimo. Este método se puede aplicar para decidir entre dos soluciones o dos diseños para un sistema eléctrico, por ejemplo, un sistema eléctrico convencional contra un solar híbrido, donde la evaluación de la fase de capital contemple los costos de mantenimiento y operación en el futuro.

El autor subraya que este tipo de análisis fortalece la justificación técnica y financiera de la propuesta elegida, en especial por el análisis y el raciocinio que se aplicó en la selección de la propuesta. Para el análisis se parte de la transformación de un sistema a otro análisis para mejorar la rentabilidad, se está mejorando la eficiencia y sostenibilidad que optimiza los recursos, minimiza el riesgo y asegura que el proyecto cumpla con los condicionantes y la calidad en la ejecución.

Aicionalmente, Das (2022) cree que el análisis de costo-beneficio es fundamental para asegurar que las decisiones del proyecto de ingeniería se tomen en el contexto contemporáneo de sostenibilidad y eficiencia económica. Adoptar tal análisis asegura que la viabilidad económica de los proyectos no solo se logre, sino que también mejore su contribución hacia un desarrollo sostenible y responsable. En este argumento, el autor señala que el ACB (acrónimo de Análisis de Costo y Beneficio) otorga a los ingenieros el poder de tomar decisiones razonables para los proyectos, racionalizando la asignación de los recursos disponibles y utilizándolos de manera óptima a largo plazo, especialmente en entornos multidisciplinarios.

Locurcio (2022) también afirma que el ACB sirve a varias funciones estratégicas destinadas a la evaluación de propuestas. Primero, facilita la evaluación de técnicas alternativas y permite la selección de la que proporciona el mejor retorno de inversión, asegurando así que los recursos se empleen de manera productiva. Segundo, mejora la justificación de una inversión ante la gestión del cliente, asegurando así que cada acción tomada cumpla con los principios de eficiencia y sostenibilidad.

Los autores destacan el Payback o cálculo del plazo de recuperación de la inversión como una medición extrema de viabilidad financiera de un proyecto, así como de optimización de beneficios en el futuro. También resaltan la rentabilidad esperada y su medición con la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Ingreso Actual Neto (VAN), que la inversión de un proyecto en relación a sus gastos es confiable.

En este sentido y como conclusión, Locurcio et al., señalan que un ACB bien hecho en un proyecto de ingeniería dado no solo garantiza viabilidad y sostenibilidad del mismo, sino que además da la posibilidad de realizar el balance entre el costo económico y el costo de su impacto en el medio natural. De esta manera, el ACB es el que da la posibilidad de que exista una administración adecuada de los recursos que aumente la rentabilidad y sostenibilidad de los proyectos a futuro.



CAPÍTULO III

3. Diagnóstico del Desempeño Operativo

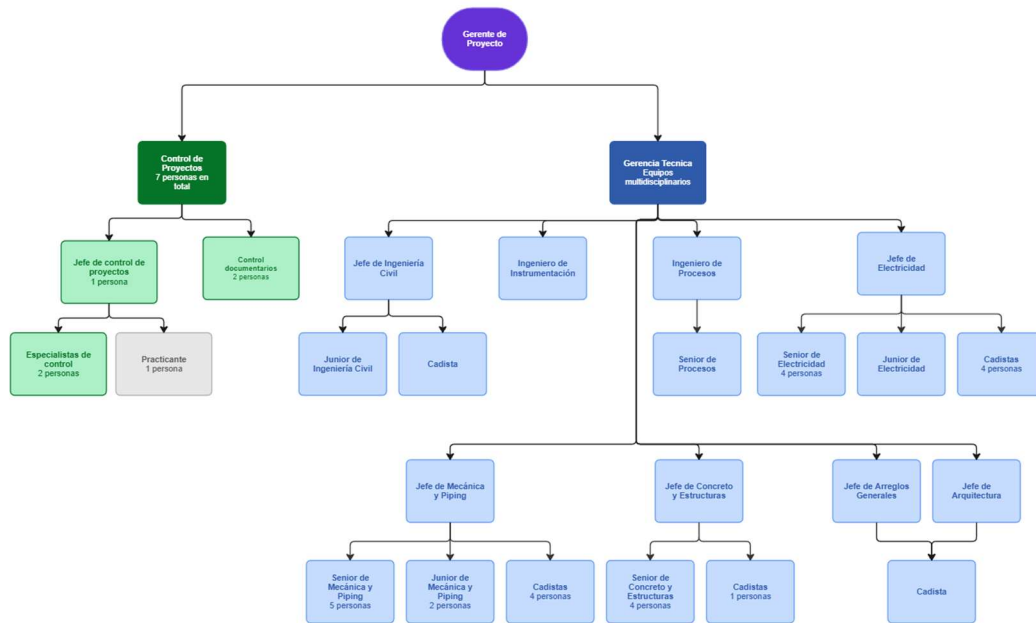
3.1. Caracterización de los proyectos seleccionados

3.1.1. Organización y recursos de la empresa

La empresa en estudio es una empresa privada estadounidense fundada en 1986 en Tucson, Arizona, dedicada a servicios integrales de diseño y construcción que integran Arquitectura, Ingeniería y Administración de Construcción. Cuenta con más de 600 empleados, presencia en más de 30 países y oficinas en Arizona, Carolina del Norte, México, Perú, Chile, Argentina, Colombia y Canadá. Ofrece servicios desde la concepción del proyecto hasta las pruebas finales de integración, con experiencia reconocida internacionalmente en sectores de minería y astronomía.

En su sede de Arequipa, Perú, la empresa brinda servicios de ingeniería multidisciplinaria que abarcan desde prefactibilidad hasta ingeniería de detalle y construcción, organizándose por disciplinas técnicas coordinadas por el área de Control de Proyectos. En promedio registra 4–5 propuestas mensuales, con 1–2 adjudicaciones, manteniendo una cartera anual de 7 proyectos; de los cuales 3 de ellos conforman la muestra analizada. A continuación, se presenta el organigrama de la sede Arequipa, que refleja la estructura jerárquica de la empresa para la ejecución de proyectos de ingeniería multidisciplinaria. Se distingue entre las líneas de mando directo, representadas con línea continua, y las relaciones de coordinación funcional, representadas con línea punteada, en el caso de los cadistas multidisciplinarios que pueden servir a más de una disciplina de manera simultánea.

Figura 2
Organigrama de la empresa



miro

Nota. Elaboración propia.

En cuanto a la estructura técnica, la empresa cuenta con equipos organizados por disciplinas, entre las que destacan ingeniería civil, arquitectura y arreglos generales, electricidad, instrumentación, procesos, concreto y estructuras, así como mecánica y piping. Cada una de estas áreas dispone de personal especializado, incluyendo jefes de disciplina, ingenieros senior, ingenieros junior y cadistas. Es importante señalar que algunos cadistas cumplen funciones en más de una disciplina, lo que evidencia un esquema de trabajo flexible, pero que a su vez puede generar sobrecarga y dispersión de esfuerzos si no se gestiona adecuadamente.

- Estructura del área de control de proyectos.

En el área de control de proyectos se encuentran un total de 7 trabajadores; los cuales son: 1 jefe de control de proyectos, 3 trabajadores de control de proyectos, 2 de control documentario y 1 practicante.

- Equipos multidisciplinarios (ingeniería civil, eléctrica, mecánica, instrumentación, etc.).

En cuanto los equipos multidisciplinarios, este se dividiría en ingeniería civil, arquitectura y arreglos generales, electricidad, instrumentación, procesos, concreto y estructuras, mecánica y piping.

- Con ello el equipo de ingeniería civil se conforma de 3 trabajadores, los cuales son 1 jefe de ingeniería civil, 1 junior, 1 cadista de civil
- Arquitectura y arreglos generales se conforma de 3 trabajadores, 1 jefe de arreglos generales, 1 jefe de arquitectura y 1 cadista.
- Electricidad se conforma de 9 trabajadores, los cuales son 4 ingenieros senior, 1 junior, y 4 cadistas.
- Procesos se conforma de dos ingenieros senior
- Instrumentación se conforma de un solo ingeniero senior.
- Concreto y estructuras es conformado por un jefe de concreto, 4 ingenieros senior y 1 cadista.
- Mecánica se conforma de un jefe de mecánica, 5 ingenieros senior, 2 junior y 4 cadistas.

Respecto a los recursos técnicos, la empresa emplea diversas herramientas para la planificación y control de proyectos. En la etapa de propuestas se utiliza principalmente Microsoft Project, mientras que para la gestión de cronogramas aprobados se emplea Primavera P6. Asimismo, el seguimiento del avance y el control de horas-hombre se realiza mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel, complementadas con tableros de visualización en Power BI, reportes periódicos, reuniones de control y el uso de curvas S como herramienta de monitoreo del desempeño.

Finalmente, la distribución de recursos humanos por disciplina, así como la asignación de cadistas en proyectos, se presenta en la Tabla 2, la cual permite visualizar la capacidad operativa de la empresa y la forma en que se distribuyen los recursos técnicos entre las distintas especialidades.

Tabla 2
Asignación de cadistas por disciplina

Cadista	Disciplina	Abreviatura
Cadista 1	Mecánico	ME
	Tuberías	PP
	Acero Estructural	SS
	Concreto	CN
	Electricidad	EL
	Instrumentación	IN
	Arreglos Generales	GA
Cadista 2	Electricidad	EL
	Instrumentación	IN
Cadista 3	Procesos	FS
	Mecánico	ME
	Tuberías	PP
	Acero Estructural	SS
Cadista 4	Procesos	FS
	Mecánico	ME
	Tuberías	PP
	Arreglos Generales	GA
	Concreto	CN
Cadista 5	Mecánico	ME
	Arreglos Generales	GA
	P&ID	PI
Cadista 6	Electricidad	ME
	Arquitectura	AR
	Arreglos Generales	IN
Cadista 7	Concreto	CN
	Acero Estructural	SS
Cadista 8	Civil	CI
	Concreto	CN
	Acero Estructural	SS
	Arquitectura	AR
Cadista 9	Electricidad	EL

	Instrumentación	IN
Cadista 10	P&ID	PI
	Mecánico	ME
	Tuberías	PP
Cadista 11	Mecánico	ME
	Instrumentación	IN
	Tuberías	PP
Cadista 12	Mecánico	ME
	Arreglos Generales	GA
	Tuberías	PP
Cadista 13	Procesos	FS
	Mecánico	ME
	Concreto	CN
	Tuberías	PP
	Acero Estructural	SS

Nota. Elaboración propia

3.1.2. Proyecto 1: Subestación eléctrica

3.1.2.1. Alcance del proyecto

El alcance de trabajo comprende la ejecución integral bajo modalidad contractual EPC (Ingeniería, Procura y Construcción) de una subestación eléctrica estratégica para un proyecto minero, donde se asumirá la responsabilidad completa del desarrollo de la Ingeniería Básica y de Detalle, Suministro de Equipos y Materiales especializados, Construcción integral y Puesta en Servicio de todas las obras civiles, estructurales, electromecánicas y sistemas de comunicaciones bajo la modalidad EPC, con el objetivo de establecer una infraestructura eléctrica robusta que proporcione 7.2 kV para habilitar operaciones mineras críticas de desbroce con equipos eléctricos especializados como palas y perforadoras.

3.1.2.2. Plazo contractual

El proyecto tiene una duración total de 10 meses, el cual empezó en Abril y estaría terminando en Enero.

3.1.2.3. Presupuesto de horas-hombre

El presupuesto original de horas hombre era un total de 12274 horas con un presupuesto de 900000\$. Por órdenes de cambio, el presupuesto en horas ha cambiado a un total de 15632 horas, pero el presupuesto ha incrementado a más de 1 millón.

3.1.2.4. Principales entregables

Los principales entregables en este caso abarcan más en las disciplinas de Electricidad y Concreto; esto porque Electricidad está presente en las demás áreas y concreto de igual forma. Con ello los principales entregables son: Memorias de cálculo, diagrama de unifilar y de bloques, Arreglos generales y planos respectivos por cada disciplina.

- **Disciplinas involucradas**

Las disciplinas involucradas son: Arquitectura, Civil, Concreto, Acero Estructural, Electricidad.

Para lo que es disciplinas fuera de ingeniería sería: Contrato, Control Documentario, Control de Proyectos, Procura.

3.1.3. Proyecto 2: Cogeneración eléctrica con vapor residual

3.1.3.1. Alcance del proyecto

El servicio abarca el desarrollo integral de estudios de Ingeniería Básica, Detalle y Gestión de Procura para el proyecto de Cogeneración con Vapor Residual Sobrecalentado en la Fundición de Ib, con el propósito de optimizar la generación de energía eléctrica mediante tecnología de turbina de vapor. El proyecto busca definir el tipo de tecnología más adecuada para la turbina de vapor y equipos principales, elaborando un proceso eficiente basado en los parámetros operativos e instalaciones existentes en la fundición, y determinando la temperatura óptima del vapor sobrecalentado para lograr máxima eficiencia térmica y producción eléctrica constante y estable. El desarrollo se fundamenta en estudios previos realizados por otra empresa en 2022 sobre cogeneración eléctrica con vapor residual saturado y en 2023 sobre vapor sobrecalentado, los cuales consideran la instalación de un caldero de fuego directo y

calentador para maximizar la capacidad de vapor. Al ubicarse en la antigua planta de generación eléctrica 1101, el proyecto requerirá análisis y evaluación del aprovechamiento de infraestructura y servicios auxiliares existentes. El alcance completo incluye estudios de ingeniería básica y de detalle, procura de equipos principales hasta la carta de recomendación (LOR), gestión de requerimientos ambientales y permisos (excluyendo ITS), estimaciones precisas de CAPEX y OPEX, evaluación financiera integral del proyecto, y desarrollo del cronograma de ejecución, todo orientado a garantizar la viabilidad técnica y económica de la iniciativa de cogeneración.

3.1.3.2. Plazo contractual

El proyecto tiene una duración total de 17 meses, el cual empezó en junio del 2024 y estaría terminando en septiembre de 2025.

3.1.3.3. Presupuesto de horas-hombre

El presupuesto original de horas hombre era un total de 17,052 horas con un presupuesto de 1,300,000\$. Por órdenes de cambio, el presupuesto en horas ha cambiado a un total de 20,052 horas, pero el presupuesto ha incrementado a 1,500,000\$.

3.1.3.4. Principales entregables

Sus principales entregables van más por parte de la disciplina de mecánica y tuberías; en los cuales están los entregables de arreglos generales y memorias de cálculo.

3.1.3.5. Disciplinas involucradas

Las disciplinas involucradas son: Procesos, Arreglos Generales, Mecánica, Tuberías, P&ID, HVAC, Concreto, Acero Estructural, Electricidad, Instrumentación, BIM.

Para lo que es disciplinas fuera de ingeniería sería: Control Documentario, Control de Proyectos, Procura.

3.1.4. Proyecto 3: Secador de concentrado

3.1.4.1. Alcance del proyecto

El servicio comprende el desarrollo de ingeniería conceptual para confirmar un equipo secador de concentrado de cobre, reduciendo la humedad de bornita del 13% al 9% y de

calcopirita del 11% al 9%. Incluye la coordinación de pruebas de secado con empresas especializadas en EEUU o Chile, visitas técnicas para reconocimiento del sitio, desarrollo de la ingeniería mecánica y eléctrica complementaria (incluyendo balanza, transportadores e iluminación), elaboración de documentos técnicos (especificaciones, planos, memorias de cálculo, diagramas), desarrollo de CAPEX y OPEX con precisión Clase 4 (-25% a +35%), cronograma de construcción nivel 1, e informe final de trade-off tecnológico, todo orientado a la integración completa del sistema de secado en el almacén de concentrado existente con sus respectivos sistemas auxiliares.

3.1.4.2. Plazo contractual

El proyecto tiene una duración total de 5 meses, el cual empezó en enero y estaría terminó en mayo.

3.1.4.3. Presupuesto de horas-hombre

El presupuesto original total de la ingeniería tuvo un total de 1172 horas-hombre; pero debido a los trends y factores de la empresa que nos contrato hubo una reducción a 964 horas.

3.1.4.4. Principales entregables

- Sus principales entregables involucrados son:
- Diagrama de flujos y bloques
- Especificaciones técnicas y criterios de diseño
- Arreglos generales
- Memorias de cálculos
- Listado de equipos
- CAPEX y OPEX

3.1.4.5. Disciplinas involucradas

Las disciplinas involucradas son: Procesos, Mécanica, Electricidad y Instrumentación.

Para lo que es disciplinas fuera de ingeniería sería: Control Documentario, Control de Proyectos, Procura.

3.2. Análisis de consumo de horas-hombre

3.2.1. Proyecto 1: Subestación eléctrica

El análisis de consumo de horas-hombre revela un proyecto con serias desviaciones del plan original, que abarca desde abril hasta agosto con una distribución no uniforme de trabajo y un pico planificado de 2,020 HH para el 20 de agosto. Aunque el proyecto ha consumido un volumen considerable de horas (6,108 HH acumuladas al 29 de agosto, representando el 38.2% del total), existe una desviación crítica en la ejecución: mientras se planificaron 2,020 HH para el 20 de agosto, solo se ejecutaron 99 HH ganadas y 315 HH gastadas, lo que indica un retraso significativo. Esta discrepancia masiva entre lo planificado y lo ejecutado, especialmente en momentos críticos del cronograma, sugiere que el proyecto está seriamente atrasado y podría estar enfrentando problemas de re-planificación, recursos insuficientes o dificultades imprevistas en la medición del progreso.

El análisis de consumo de horas-hombre evidencia una distribución no uniforme del trabajo entre abril y agosto, con un pico planificado de 2,020 HH el 20 de agosto. En ese hito, el proyecto registró 99 HH ganadas (EV) y 315 HH gastadas (AC) frente a lo planificado (PV) de 2,020 HH, lo que configura un desvío semanal severo ($SPI_{sem} \approx 0.05$; $CPI_{sem} \approx 0.31$) y sobreconsumo. Al 29 de agosto, el proyecto acumula 6,108 HH ($\approx 38.2\%$ del total), lo que no implica por sí mismo un atraso global, sino un quiebre puntual en una semana crítica del cronograma. Este patrón sugiere cuellos de botella locales (asignación de recursos, dependencias interdisciplinarias o liberación tardía de información) que requieren replanificación a nivel de hito, sin prejuzgar un retraso estructural del proyecto en su conjunto.

Tabla 3

Cuadro resumen de horas Subestación eléctrica

15,632	11-Abr	18-Abr	25-Abr	2-May	9-May	16-May
HH Ganadas	5	5	116	209	203	74
HH Ganadas Acumuladas	5	10	126	335	538	612
HH Gastadas	83	137	298	275	421	448

HH Gastadas Acumuladas	83	220	518	793	1,214	1,662
HH Planeadas	5	5	116	209	203	74
HH Planeadas Acumuladas	5	10	126	335	538	612
% HH Ganadas	0.0%	0.0%	0.7%	1.3%	1.3%	0.5%
% HH Ganadas Acumuladas	0.0%	0.1%	0.8%	2.1%	3.4%	3.9%
% HH Gastadas	0.5%	0.9%	1.9%	1.8%	2.7%	2.9%
% HH Gastadas Acumuladas	0.5%	1.4%	3.3%	5.1%	7.8%	10.6%
% HH Planeadas	0.0%	0.0%	0.7%	1.3%	1.3%	0.5%
% HH Planeadas Acumuladas	0.0%	0.1%	0.8%	2.1%	3.4%	3.9%
15,632	23-May	30-May	6-Jun	13-Jun	20-Jun	27-Jun
HH Ganadas	196	328	445	206	252	170
HH Ganadas Acumuladas	808	1,136	1,581	1,787	2,039	2,209
HH Gastadas	448	315	360	434	471	466
HH Gastadas Acumuladas	2,109	2,424	2,784	3,218	3,689	4,154
HH Planeadas	196	328	445	206	252	170
HH Planeadas Acumuladas	808	1,136	1,581	1,787	2,039	2,209
% HH Ganadas	1.3%	2.1%	2.8%	1.3%	1.6%	1.1%
% HH Ganadas Acumuladas	5.2%	7.3%	10.1%	11.4%	13.0%	14.1%
% HH Gastadas	2.9%	2.0%	2.3%	2.8%	3.0%	3.0%
% HH Gastadas Acumuladas	13.5%	15.5%	17.8%	20.6%	23.6%	26.6%
% HH Planeadas	1.3%	2.1%	2.8%	1.3%	1.6%	1.1%
% HH Planeadas Acumuladas	5.2%	7.3%	10.1%	11.4%	13.0%	14.1%
15,632	4-Jul	11-Jul	18-Jul	25-Jul	1-Ago	8-Ago
HH Ganadas	103	282	191	99	2,020	311
HH Ganadas Acumuladas	2,312	2,594	2,785	2,884	4,904	5,215
HH Gastadas	481	482	538	352	315	390
HH Gastadas Acumuladas	4,636	5,118	5,656	6,008	6,322	6,712
HH Planeadas	103	282	191	99	2,020	178
HH Planeadas Acumuladas	2,312	2,594	2,785	2,883	4,903	5,081
% HH Ganadas	0.7%	1.8%	1.2%	0.6%	12.9%	2.0%

	15,632	15-Ago	22-Ago	29-Ago
% HH Ganadas Acumuladas	14.8%	16.6%	17.8%	18.4%
% HH Gastadas	3.1%	3.1%	3.4%	2.3%
% HH Gastadas Acumuladas	29.7%	32.7%	36.2%	38.4%
% HH Planeadas	0.7%	1.8%	1.2%	0.6%
% HH Planeadas Acumuladas	14.8%	16.6%	17.8%	18.4%
HH Ganadas	509	252	132	
HH Ganadas Acumuladas	5,724	5,976	6,108	
HH Gastadas	498	567		
HH Gastadas Acumuladas	7,210	7,776	7,776	
HH Planeadas	553	149	139	
HH Planeadas Acumuladas	5,634	5,783	5,922	
% HH Ganadas	3.3%	1.6%	0.8%	
% HH Ganadas Acumuladas	36.6%	38.2%	39.1%	
% HH Gastadas	3.2%	3.6%	0.0%	
% HH Gastadas Acumuladas	46.1%	49.7%	49.7%	
% HH Planeadas	3.5%	1.0%	0.9%	
% HH Planeadas Acumuladas	36.0%	37.0%	37.9%	

Nota. Elaboración propia.

Figura 3
Variación absoluta y porcentual Subestación eléctrica

GENERAL	SEMANA ----->	18-Ago	22-Ago
% Planeado: 37.00%	Entregables Equivalentes:	12	und
% Ganado: 38.23%	Horas por Entregable:	47	hh/und
% Gastado: 49.75%	ACUMULADO ----->		22-Ago
HH Total : 15,632 h	# Entregables:	546	und
HH Consumidas: 7,776 h	Entregables Equivalentes:	209	und
	Horas por Entregable - PPTO	21	hh/und
	Horas por Entregable - Actual:	37	hh/und
Δ Horas: 1800 h	Ratio Costo/Hora - PPTO:	114.3	\$/hh
Δ Costo: \$ 136,787	Ratio Costo/Hora - Actual:	76.0	\$/hh

Nota. Elaboración propia.

El valor planeado es de 37.00% del trabajo y se ha completado el 38.23% (indicando un adelanto del 1.23%), existe un consumo excesivo de horas ya que se ha gastado el 49.75% del presupuesto de horas para obtener solo el 38.23% de avance, lo que indica una ineficiencia del 11.52% en el uso de recursos humanos. Esta ineficiencia se confirma al observar que las horas por entregable actuales (37 hh/und) son significativamente mayores a las planificadas (21 hh/und), demostrando que los entregables están tomando 76% más tiempo del estimado, lo que sugiere problemas en la productividad, subestimación inicial de la complejidad del trabajo, o deficiencias en los procesos de ejecución. Las variaciones absolutas (Δ Horas: 1800 h y Δ Costo: \$136,787) representan el ahorro restante disponible, pero al ritmo actual de consumo ineficiente de horas, estos recursos se agotarán antes de completar el proyecto, requiriendo medidas correctivas inmediatas para optimizar la productividad y el uso del tiempo.

Tabla 4
Distribución de consumo de horas por disciplina Subestación eléctrica

Disciplinas	Periodo HH 22/8	Total HH
Project Manager	-	116.00
Project Accounting	-	4.00
Project Administration	8.75	336.50
Engineering Manager	38.75	445.50
Concrete	210.25	1,198.25
Architectural	39.25	343.50
Civil	51.50	643.50
Structural Steel	-	56.25
Electrical	186.25	3,654.75
Contracts	-	113.75
Purchasing	13.00	283.75
PC Management	-	67.25
Cost Control	15.75	292.00
Scheduling	3.00	221.25
Subtotal	566.50	7,776.25

Nota. Elaboración propia.

3.2.1.1. Impacto en la productividad del proyecto

El proyecto demuestra una productividad inicial prometedora con un ligero adelanto cronológico (38.23% ganado vs 37.00% planeado) y una excelente eficiencia de costos evidenciada por la ratio actual de \$76.0/hh que es 33% menor al presupuestado de \$114.3/hh, generando ahorros de \$136,787. Sin embargo, la productividad se ve comprometida por la ineficiencia en horas-hombre, donde cada entregable requiere 37 horas reales versus las 21 horas planificadas (76% más tiempo), indicando problemas de estimación o ejecución que, aunque compensados por menores costos unitarios, podrían generar presión en el cronograma si no se corrigen en fases posteriores.

3.2.2. Proyecto 2: Cogeneración eléctrica con vapor residual

Los datos indican que el proyecto no se ha desarrollado según lo previsto. Si bien se ha avanzado, como lo demuestra el consumo de horas, las desviaciones masivas en la ejecución, en particular el pico en agosto, sugieren una planificación deficiente o la necesidad de una intervención de emergencia para mantener el proyecto en curso.

Tabla 5
Cuadro resumen de horas Cogeneración eléctrica

18,860	28-Jun	5-Jul	12-Jul	19-Jul	26-Jul	2-Ago
HH Ganadas	8	19	46	19	56	341
HH Ganadas Acumuladas	8	27	72	91	147	488
HH Gastadas	39	137	142	164	93	97
HH Gastadas Acumuladas	39	176	318	482	574	671
HH Planeadas	8	19	46	19	56	341
HH Planeadas Acumuladas	8	27	72	92	147	488
% HH Ganadas	0.0%	0.1%	0.2%	0.1%	0.3%	1.8%
% HH Ganadas Acumuladas	0.0%	0.1%	0.4%	0.5%	0.8%	2.6%
% HH Gastadas	0.2%	0.7%	0.8%	0.9%	0.5%	0.5%
% HH Gastadas Acumuladas	0.2%	0.9%	1.7%	2.6%	3.0%	3.6%

HH Planeadas	0.0%	0.1%	0.2%	0.1%	0.3%	1.8%
HH Planeadas Acumuladas	0.0%	0.1%	0.4%	0.5%	0.8%	2.6%
18,860	9-Ago	16-Ago	23-Ago	30-Ago	6-Set	13-Set
HH Ganadas	80	210	376	19	76	59
HH Ganadas Acumuladas	567	778	1,154	1,173	1,249	1,308
HH Gastadas	80	127	276	202	354	206
HH Gastadas Acumuladas	751	878	1,154	1,356	1,710	1,916
HH Planeadas	79	210	376	19	76	59
HH Planeadas Acumuladas	567	778	1,154	1,173	1,249	1,308
% HH Ganadas	0.4%	1.1%	2.0%	0.1%	0.4%	0.3%
% HH Ganadas Acumuladas	3.0%	4.1%	6.1%	6.2%	6.6%	6.9%
% HH Gastadas	0.4%	0.7%	1.5%	1.1%	1.9%	1.1%
% HH Gastadas Acumuladas	4.0%	4.7%	6.1%	7.2%	9.1%	10.2%
HH Planeadas	0.4%	1.1%	2.0%	0.1%	0.4%	0.3%
HH Planeadas Acumuladas	3.0%	4.1%	6.1%	6.2%	6.6%	6.9%
18,860	20-Set	27-Set	4-Oct	11-Oct	18-Oct	25-Oct
HH Ganadas	121	419	242	112	138	285
HH Ganadas Acumuladas	1,429	1,848	2,090	2,202	2,340	2,625
HH Gastadas	243	274	248	186	249	281
HH Gastadas Acumuladas	2,158	2,433	2,681	2,867	3,116	3,397
HH Planeadas	121	419	242	112	138	285
HH Planeadas Acumuladas	1,429	1,848	2,090	2,202	2,340	2,625
% HH Ganadas	0.6%	2.2%	1.3%	0.6%	0.7%	1.5%
% HH Ganadas Acumuladas	7.6%	9.8%	11.1%	11.7%	12.4%	13.9%
% HH Gastadas	1.3%	1.5%	1.3%	1.0%	1.3%	1.5%
% HH Gastadas Acumuladas	11.4%	12.9%	14.2%	15.2%	16.5%	18.0%
HH Planeadas	0.6%	2.2%	1.3%	0.6%	0.7%	1.5%
HH Planeadas Acumuladas	7.6%	9.8%	11.1%	11.7%	12.4%	13.9%
18,860	1-Nov	8-Nov	15-Nov	22-Nov	29-Nov	6-Dic
HH Ganadas	241	142	102	54	55	14
HH Ganadas Acumuladas	2,867	3,008	3,110	3,164	3,219	3,233

HH Gastadas	237	285	244	237	243	152
HH Gastadas Acumuladas	3,634	3,920	4,163	4,400	4,642	4,794
HH Planeadas	241	142	102	54	55	14
HH Planeadas Acumuladas	2,867	3,008	3,110	3,164	3,219	3,233
% HH Ganadas	1.3%	0.8%	0.5%	0.3%	0.3%	0.1%
% HH Ganadas Acumuladas	15.2%	15.9%	16.5%	16.8%	17.1%	17.1%
% HH Gastadas	1.3%	1.5%	1.3%	1.3%	1.3%	0.8%
% HH Gastadas Acumuladas	19.3%	20.8%	22.1%	23.3%	24.6%	25.4%
HH Planeadas	1.3%	0.8%	0.5%	0.3%	0.3%	0.1%
HH Planeadas Acumuladas	15.2%	15.9%	16.5%	16.8%	17.1%	17.1%
18,860	13-Dic	20-Dic	27-Dic	3-Ene	10-Ene	17-Ene
HH Ganadas	1	1	85	-	-	-
HH Ganadas Acumuladas	3,234	3,235	3,320	3,320	3,320	3,320
HH Gastadas	184	9	32	89	84	121
HH Gastadas Acumuladas	4,977	4,968	5,000	5,089	5,173	5,294
HH Planeadas	1	1	85	-	-	-
HH Planeadas Acumuladas	3,234	3,235	3,320	3,320	3,320	3,320
% HH Ganadas	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
% HH Ganadas Acumuladas	17.1%	17.2%	17.6%	17.6%	17.6%	17.6%
% HH Gastadas	1.0%	0.0%	0.2%	0.5%	0.4%	0.6%
% HH Gastadas Acumuladas	26.4%	26.3%	26.5%	27.0%	27.4%	28.1%
HH Planeadas	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
HH Planeadas Acumuladas	17.1%	17.2%	17.6%	17.6%	17.6%	17.6%
18,860	24-Ene	31-Ene	7-Feb	14-Feb	21-Feb	28-Feb
HH Ganadas	-	52	-	84	62	147
HH Ganadas Acumuladas	3,320	3,373	3,373	3,457	3,519	3,666
HH Gastadas	114	211	127	206	188	182
HH Gastadas Acumuladas	5,408	5,620	5,746	5,952	6,140	6,322
HH Planeadas	-	52	-	84	62	147

HH Planeadas Acumuladas	3,320	3,373	3,373	3,456	3,518	3,665
% HH Ganadas	0.0%	0.3%	0.0%	0.4%	0.3%	0.8%
% HH Ganadas Acumuladas	17.6%	17.9%	17.9%	18.3%	18.7%	19.4%
% HH Gastadas	0.6%	1.1%	0.7%	1.1%	1.0%	1.0%
% HH Gastadas Acumuladas	28.7%	29.8%	30.5%	31.6%	32.6%	33.5%
HH Planeadas	0.0%	0.3%	0.0%	0.4%	0.3%	0.8%
HH Planeadas Acumuladas	17.6%	17.9%	17.9%	18.3%	18.7%	19.4%
18,860	7-Mar	14-Mar	21-Mar	28-Mar	4-Abr	11-Abr
HH Ganadas	140	1,182	215	438	280	175
HH Ganadas Acumuladas	3,806	4,988	5,203	5,641	5,921	6,096
HH Gastadas	305	396	466	347	502	409
HH Gastadas Acumuladas	6,626	7,023	7,488	7,835	8,338	8,747
HH Planeadas	140	1,182	215	438	280	175
HH Planeadas Acumuladas	3,805	4,987	5,202	5,640	5,920	6,095
% HH Ganadas	0.7%	6.3%	1.1%	2.3%	1.5%	0.9%
% HH Ganadas Acumuladas	20.2%	26.4%	27.6%	29.9%	31.4%	32.3%
% HH Gastadas	1.6%	2.1%	2.5%	1.8%	2.7%	2.2%
% HH Gastadas Acumuladas	35.1%	37.2%	39.7%	41.5%	44.2%	46.4%
HH Planeadas	0.7%	6.3%	1.1%	2.3%	1.5%	0.9%
HH Planeadas Acumuladas	20.2%	26.4%	27.6%	29.9%	31.4%	32.3%
18,860	18-Abr	25-Abr	2-May	9-May	16-May	23-May
HH Ganadas	157	641	154	252	199	136
HH Ganadas Acumuladas	6,253	6,894	7,048	7,300	7,499	7,635
HH Gastadas	275	420	294	655	794	700
HH Gastadas Acumuladas	9,022	9,442	9,736	10,391	11,184	11,884
HH Planeadas	157	641	154	252	199	136
HH Planeadas Acumuladas	6,252	6,893	7,047	7,299	7,498	7,634
% HH Ganadas	0.8%	3.4%	0.8%	1.3%	1.1%	0.7%
% HH Ganadas Acumuladas	33.2%	36.6%	37.4%	38.7%	39.8%	40.5%
% HH Gastadas	1.5%	2.2%	1.6%	3.5%	4.2%	3.7%
% HH Gastadas Acumuladas	47.8%	50.1%	51.6%	55.1%	59.3%	63.0%

HH Planeadas	0.8%	3.4%	0.8%	1.3%	1.1%	0.7%
HH Planeadas Acumuladas	33.1%	36.5%	37.4%	38.7%	39.8%	40.5%
18,860	30-May	6-Jun	13-Jun	20-Jun	27-Jun	4-Jul
HH Ganadas	247	307	493	1,820	385	471
HH Ganadas Acumuladas	7,882	8,189	8,682	10,502	10,887	11,358
HH Gastadas	776	617	693	667	488	710
HH Gastadas Acumuladas	12,660	13,278	13,970	14,637	15,125	15,835
HH Planeadas	247	414	1,455	657	257	508
HH Planeadas Acumuladas	7,881	8,295	9,750	10,407	10,664	11,171
% HH Ganadas	1.3%	1.6%	2.6%	9.7%	2.0%	2.5%
% HH Ganadas Acumuladas	41.8%	43.4%	46.0%	55.7%	57.7%	60.2%
% HH Gastadas	4.1%	3.3%	3.7%	3.5%	2.6%	3.8%
% HH Gastadas Acumuladas	67.1%	70.4%	74.1%	77.6%	80.2%	84.0%
HH Planeadas	1.3%	2.2%	7.7%	3.5%	1.4%	2.7%
HH Planeadas Acumuladas	41.8%	44.0%	51.7%	55.2%	56.5%	59.2%
18,860	11-Jul	18-Jul	25-Jul	1-Ago	8-Ago	15-Ago
HH Ganadas	271	388	731	862	476	229
HH Ganadas Acumuladas	11,629	12,017	12,748	13,610	14,086	14,315
HH Gastadas	762	717	427	386	478	580
HH Gastadas Acumuladas	16,597	17,314	17,740	18,126	18,604	19,184
HH Planeadas	486	426	941	1,033	1,130	1,058
HH Planeadas Acumuladas	11,657	12,083	13,024	14,057	15,187	16,245
% HH Ganadas	1.4%	2.1%	3.9%	4.6%	2.5%	1.2%
% HH Ganadas Acumuladas	61.7%	63.7%	67.6%	72.2%	74.7%	75.9%
% HH Gastadas	4.0%	3.8%	2.3%	2.0%	2.5%	3.1%
% HH Gastadas Acumuladas	88.0%	91.8%	94.1%	96.1%	98.6%	101.7%
HH Planeadas	2.6%	2.3%	5.0%	5.5%	6.0%	5.6%
HH Planeadas Acumuladas	61.8%	64.1%	69.1%	74.5%	80.5%	86.1%
18,860	22-Ago	29-Ago				
HH Ganadas	659	688				
HH Ganadas Acumuladas	14,974	15,662				

HH Gastadas	580	
HH Gastadas Acumuladas	19,764	19,764
HH Planeadas	1,114	1,090
HH Planeadas Acumuladas	17,359	18,449
% HH Ganadas	3.5%	3.6%
% HH Ganadas Acumuladas	79.4%	83.0%
% HH Gastadas	3.1%	0.0%
% HH Gastadas Acumuladas	104.8%	104.8%
HH Planeadas	5.9%	5.8%
HH Planeadas Acumuladas	92.0%	97.8%

Nota. Elaboración propia.

Figura 4
Variación absoluta y porcentual Cogeneración eléctrica

GENERAL		SEMANA ----->	18-Ago	22-Ago
% Planeado:	92.04%	Entregables Equivalentes:	15	und
% Ganado:	79.39%	Horas por Entregable:	39	hh/und
% Gastado:	104.79%	ACUMULADO ----->		
HH Total :	18,860 h	# Entregables:	395	und
HH Consumidas:	19,764 h	Entregables Equivalentes:	314	und
		Horas por Entregable - PPTO	44	hh/und
		Horas por Entregable - Actual:	63	hh/und
		Ratio Costo/Hora - PPTO:	77.9	\$/hh
Δ Horas:	4790 h	Ratio Costo/Hora - Actual:	69.2	\$/hh
Δ Costo:	\$ 331,314			

Nota. Elaboración propia.

Se ha planeado ejecutar el 92.04% del trabajo y realmente se ha completado el 79.39 % ,se ha consumido el 104.79% del presupuesto total, lo que revela un sobrecosto crítico respecto al avance real. La variación absoluta muestra un ahorro de horas (Δ Horas: 4790 h) pero un gasto adicional significativo (Δ Costo: \$331,314), sugiriendo que aunque se utilizaron menos horas de las planificadas, el costo por hora fue mucho mayor al estimado, resultando en una grave ineficiencia económica del proyecto que requiere medidas correctivas inmediatas para controlar los costos y mejorar la productividad.

Tabla 6*Distribución de consumo de horas por disciplina Cogeneración eléctrica*

Disciplinas	Periodo HH 22/8	Total HH
Project Manager	25.50	404.75
Project Accounting	3.00	8.50
Project Administration	16.25	530.25
Technical Writing	-	2.50
Engineering Manager	18.00	453.00
Building Information Model	33.25	2,427.25
Concrete	102.50	1,521.25
Process	14.00	934.50
General Arrangement	- 39.00	296.25
Structural Steel	-	998.25
Mechanical	71.75	1,672.00
Piping	149.50	2,809.50
Electrical	146.75	2,517.25
Instrumentation	1.00	1,946.00
P&ID	-	1,434.50
Purchasing	8.00	402.50
PC Management	-	193.00
Capital Cost Estimating	20.00	101.50
Cost Control	8.00	382.50
Scheduling	1.00	335.50
Financial Modeling	0.50	12.50
Subtotal	580.00	7,776.25

Nota. Elaboración propia.

3.2.2.1. Impacto en la productividad del proyecto

El proyecto experimenta una crisis severa de productividad caracterizada por un consumo excesivo del 104.79% del presupuesto para lograr solo el 79.39% de valor ganado (déficit del 13.65%), a pesar de haber ejecutado el 92.04% del cronograma planificado. La productividad se deteriora significativamente con 63 horas por entregable actual versus las 44 horas presupuestadas (43% más tiempo), y el sobrecosto de \$331,314 con solo 4,790 horas de sobreconsumo indica que los costos unitarios se han disparado debido a ineficiencias operativas, reprocesos, o uso de recursos más costosos, comprometiendo gravemente la

viabilidad económica del proyecto y requiriendo medidas correctivas inmediatas para evitar el agotamiento total del presupuesto.

3.2.3. Proyecto 3: Secador de concentrado

Para el 30 de mayo, el 98.7% del trabajo del proyecto (medido en horas ganadas) ya ha sido completado, lo cual está en línea con el 100% de las horas planeadas acumuladas para esa fecha. Sin embargo, este progreso ha venido a un costo: el equipo ha gastado 828.25 horas (HH Gastadas Acumuladas) para obtener un valor ganado de 952 horas (HH Ganadas Acumuladas). Si bien esto muestra una buena productividad, la aceleración del consumo de horas puede ser una señal de una subestimación inicial en la planificación, lo que podría llevar a un sobre costo del proyecto en términos de tiempo. En resumen, el proyecto avanza, pero la desviación indica que el plan inicial podría no haber sido realista.

Tabla 7
Cuadro resumen de horas Secador de concentrado

964	24-Ene	31-Ene	7-Feb	14-Feb	21-Feb	28-Feb
HH Ganadas	-	28	13	13	12	13
HH Ganadas Acumuladas	-	28	40	53	65	77
HH Gastadas	17	8	9	7	7	55
HH Gastadas Acumuladas	17	25	34	41	48	103
HH Planeadas	15	15	15	15	69	50
HH Planeadas Acumuladas	15	30	45	60	129	179
% HH Ganadas	0.0%	2.9%	1.3%	1.3%	1.2%	1.3%
% HH Ganadas Acumuladas	0.0%	2.9%	4.2%	5.5%	6.7%	8.0%
% HH Gastadas	1.8%	0.9%	0.9%	0.7%	0.7%	5.7%
% HH Gastadas Acumuladas	1.8%	2.6%	3.6%	4.2%	5.0%	10.6%
% HH Planeadas	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	7.2%	5.2%
% HH Planeadas Acumuladas	1.6%	3.1%	4.7%	6.2%	13.4%	18.6%
964	7-Mar	14-Mar	21-Mar	28-Mar	4-Abr	11-Abr
HH Ganadas	32	31	43	75	110	46

HH Ganadas Acumuladas	109	140	183	258	368	415
HH Gastadas	55	78	55	36	128	42
HH Gastadas Acumuladas	158	236	290	327	454	496
HH Planeadas	15	15	15	141	113	63
HH Planeadas Acumuladas	194	209	224	365	478	541
% HH Ganadas	3.3%	3.2%	4.5%	7.8%	11.4%	4.8%
% HH Ganadas Acumuladas	11.3%	14.5%	19.0%	26.8%	38.2%	43.0%
% HH Gastadas	5.7%	8.1%	5.7%	3.8%	13.3%	4.4%
% HH Gastadas Acumuladas	16.3%	24.5%	30.1%	33.9%	47.1%	51.5%
% HH Planeadas	1.6%	1.6%	1.6%	14.6%	11.7%	6.5%
% HH Planeadas Acumuladas	20.1%	21.7%	23.2%	37.9%	49.6%	56.1%
964	18-Abr	25-Abr	2-May	9-May	16-May	23-May
HH Ganadas	169	39	205	57	49	18
HH Ganadas Acumuladas	583	622	827	884	933	951
HH Gastadas	30	82	123	34	22	19
HH Gastadas Acumuladas	527	609	732	765	787	806
HH Planeadas	26	55	151	102	52	37
HH Planeadas Acumuladas	567	622	773	875	927	964
% HH Ganadas	17.5%	4.0%	21.3%	5.9%	5.1%	1.9%
% HH Ganadas Acumuladas	60.5%	64.5%	85.8%	91.7%	96.8%	98.7%
% HH Gastadas	3.1%	8.5%	12.7%	3.5%	2.3%	1.9%
% HH Gastadas Acumuladas	54.6%	63.1%	75.9%	79.4%	81.7%	83.6%
% HH Planeadas	2.7%	5.7%	15.7%	10.6%	5.4%	3.8%
% HH Planeadas Acumuladas	58.8%	64.5%	80.2%	90.8%	96.2%	100.0%
964	30-May					
HH Ganadas	1					
HH Ganadas Acumuladas	952					
HH Gastadas	22					
HH Gastadas Acumuladas	828					
HH Planeadas	-					
HH Planeadas Acumuladas	964					
% HH Ganadas	0.1%					

% HH Ganadas Acumuladas	98.8%
% HH Gastadas	2.3%
% HH Gastadas Acumuladas	85.9%
% HH Planeadas	0.0%
% HH Planeadas Acumuladas	100.0%

Nota. Elaboración propia.

Figura 5

Variación absoluta y porcentual Secador de concentrado

GENERAL		SEMANA ----->		26-May	30-May
% Planeado:	100.00%	Entregables Equivalentes:	1	und	
% Ganado:	98.80%	Horas por Entregable:	22	hh/und	
% Gastado:	85.92%	ACUMULADO ----->		30-May	
HH Total :	964 h	# Entregables:	4	und	
HH Consumidas:	828 h	Entregables Equivalentes:	4	und	
Δ Horas:	-124 h	Horas por Entregable-PPTO	1	hh/und	
Δ Costo: \$	-9,327	Horas por Entregable:	24	hh/und	
		Ratio Costo/Hora - PPTO:	80.5	\$/hh	
		Ratio Costo/Hora - Actual:	75.1	\$/hh	

Nota. Elaboración propia.

Se completó el 100% de lo planeado con un 98.80% de valor ganado (déficit mínimo del 1.20%), pero lo más importante es que se consumió solo el 85.92% del presupuesto de horas para lograr casi todo el trabajo, generando un ahorro de 124 horas y \$9,327. Sin embargo, existe una discrepancia significativa entre la estimación inicial y la realidad operativa: las horas por entregable planificadas (1 hh/und) fueron extremadamente subestimadas comparadas con las reales (24 hh/und), lo que sugiere que la planificación inicial fue demasiado optimista, pero afortunadamente el presupuesto total fue suficientemente robusto para absorber esta diferencia y aún generar ahorros.

Tabla 8

Distribución de consumo de horas por disciplina Secador de concentrado

Disciplinas	Periodo HH 22/8	Total HH
Project Manager	2.75	38.00
Project Administration	1.00	49.25
Engineering Manager	8.00	8.00
Concrete	-	2.00

Process	1.50	120.00
Mechanical	-	337.50
Electrical	-	90.25
Instrumentation	-	12.75
Purchasing	-	1.00
PC Management	-	10.25
Capital Cost Estimating	-	40.00
O&M Estimating	-	12.00
Cost Control	2.00	56.50
Scheduling	-	11.25
Financial Modeling	7.00	39.50
Subtotal	22.25	828.25

Nota. Elaboración propia.

3.2.3.1. Impacto en la productividad del proyecto

El proyecto concluye con una recuperación exitosa de la productividad, logrando completar prácticamente todo el trabajo (98.80% ganado) utilizando eficientemente el 85.92% del presupuesto de horas, resultando en ahorros significativos de 124 horas y \$9,327. La productividad final demuestra resiliencia organizacional al superar las crisis anteriores y establecer un ritmo sostenible de 24 horas por entregable, que aunque es 2,300% superior a la estimación inicial extremadamente optimista (1 hh/und), se mantiene dentro de parámetros manejables que permitieron completar el proyecto bajo presupuesto, evidenciando la importancia de contar con reservas de contingencia y capacidad de adaptación en la gestión de proyectos complejos.

3.3. Evaluación de indicadores CPI, SPI, EV, PV, AC

3.3.1. Proyecto 1: Subestación eléctrica

Tabla 9

Síntesis comparativa Subestación eléctrica

Indicador	Interpretación	Subestación Eléctrica	Criterios
BAM (Costo Total Estimado)		15,632 h	
% Planificado Acumulado		37.0%	
% Real Acumulado		38.2%	
PV (Planned Value)	Valor del trabajo que se debía ejecutar	5,784 h	

EV (Earned Value)	Valor del trabajo efectivamente ejecutado	5,976 h	
AC (Actual Cost)	Gasto real hasta la fecha	7,776 h	
CPI	>1 = eficiente, <1 = ineficiente en costos	0.77	ineficiente en costos
SPI	>1 = adelantado, <1 = retrasado	1.03	adelantado
CV (Variación de costo)	Positivo = ahorro, Negativo = sobrecosto	-1,800 h	sobrecosto
SV (Variación de cronograma)	Positivo = adelantado, Negativo = retraso	192 h	adelantado
EAC (Estimación al terminar)	Proyección de costo final	20,340 h	
ETC (Estimación para completar)	Costo faltante para concluir	12,564 h	
VAC (Variación al terminar)	Positivo = ahorro esperado, Negativo = déficit	-4,708 h	déficit

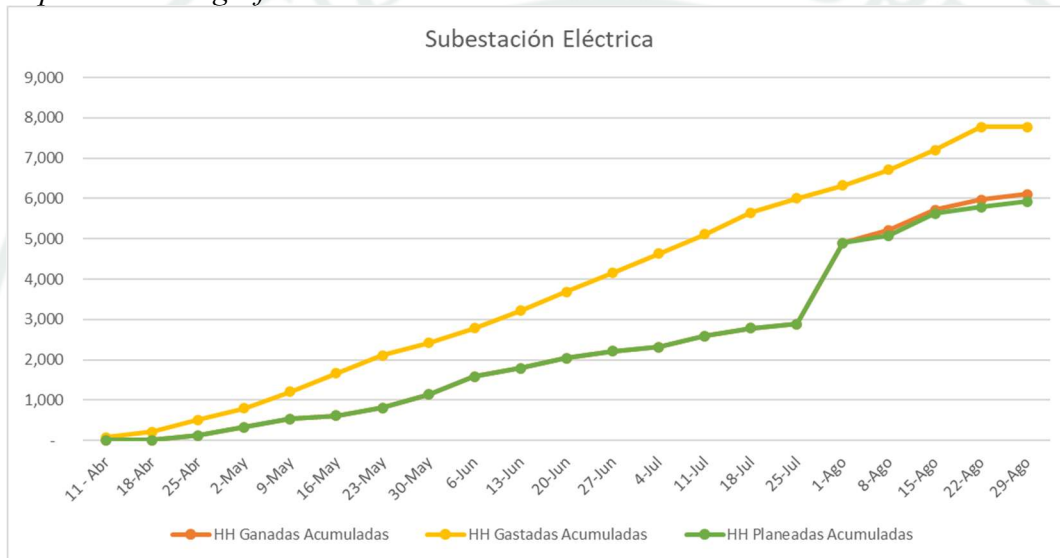
Nota. Elaboración propia.

Al corte de evaluación, el proyecto registró un avance real acumulado de 38.2%, ligeramente superior al 37.0% planificado, lo que se refleja en un SPI de 1.03, confirmando que el equipo va adelantado en cronograma en 192 HH respecto a lo programado. Sin embargo, el desempeño en costos es crítico: el AC de 7,776 HH supera ampliamente al EV de 5,976 HH, generando una variación de costo negativa de -1,800 HH y un CPI de 0.77, lo que significa que por cada hora presupuestada se están consumiendo 1.30 horas reales. Si esta tendencia se mantiene, el EAC proyecta un costo final de 20,340 HH frente a un BAM de 15,632 HH, acumulando un déficit al terminar de -4,708 HH. En síntesis, el proyecto avanza en tiempo pero a un costo significativamente mayor al planificado, evidenciando ineficiencia en el uso de horas-hombre.

En resumen, se tiene estos resultados para el proyecto 1:

- **Planned Value (PV):** 5,783.84HH
- **Earned Value (EV):** 5,976.11HH
- **Actual Cost (AC):** 7,776.00HH
- **CPI (Cost Performance Index):** 0.77
- **SPI (Schedule Performance Index):** 1.03.

Figura 6
Representación gráfica Subestación eléctrica



Nota. Elaboración propia.

El CPI de 0.77 indica que el costo de las horas hombre es mayor de lo esperado, resultando en un sobrecosto. El SPI de 1.03 confirma que el uso de horas hombre está adelantado al plan.

3.3.2. Proyecto 2: Cogeneración eléctrica con vapor residual

Tabla 10
Síntesis comparativa Cogeneración eléctrica con vapor residual

Indicador	Interpretación	Cogeneración	Criterios
BAM (Costo Total Estimado)		20,052 h	
% Planificado Acumulado		92.0%	
% Real Acumulado		79.4%	
PV (Planned Value)	Valor del trabajo que se debía ejecutar	18,456 h	
EV (Earned Value)	Valor del trabajo efectivamente ejecutado	15,919 h	
AC (Actual Cost)	Gasto real hasta la fecha	19,383 h	

CPI	>1 = eficiente, <1 = ineficiente en costos	0.82	ineficiente en costos
SPI	>1 = adelantado, <1 = retrasado	0.86	retrasado
CV (Variación de costo)	Positivo = ahorro, Negativo = sobrecosto	-3,464 h	sobrecosto
SV (Variación de cronograma)	Positivo = adelantado, Negativo = retraso	-2,537 h	retraso
EAC (Estimación al terminar)	Proyección de costo final	24,415 h	
ETC (Estimación para completar)	Costo faltante para concluir	5,032 h	
VAC (Variación al terminar)	Positivo = ahorro esperado, Negativo = déficit	-4,363 h	déficit

Nota. Elaboración propia.

Este proyecto presenta el peor desempeño de los tres analizados, con problemas simultáneos tanto en costo como en cronograma. Al corte, el avance real acumulado es de 79.4% frente al 92.0% planificado, acumulando un retraso de -2,537 HH (SPI = 0.86). En costos, el AC de 19,383 HH supera al EV de 15,919 HH, generando una variación de costo de -3,464 HH y un CPI de 0.82, lo que indica que se consume S/ 1.22 por cada sol de valor generado. La proyección al terminar estima un costo final de 24,415 HH contra un BAM de 20,052 HH, con un déficit de -4,363 HH. La combinación de CPI < 1 y SPI < 1 refleja una situación de alto riesgo operativo que requiere intervención correctiva inmediata en la asignación de recursos y en el seguimiento del cronograma

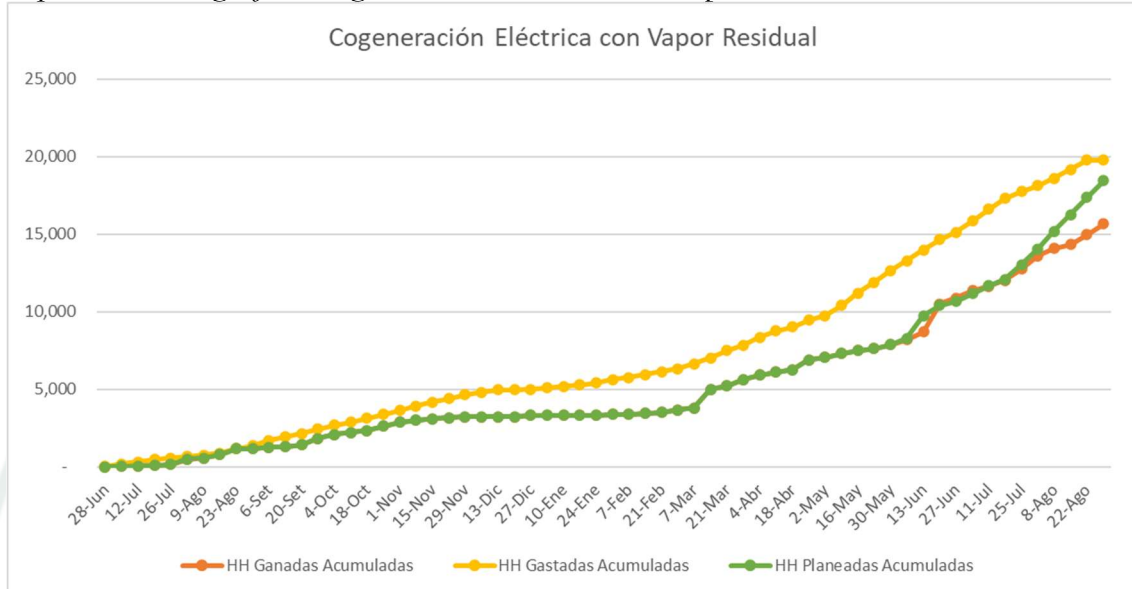
En resumen, se tiene estos resultados para el proyecto 2:

- **Planned Value (PV):** 18,455.86HH
- **Earned Value (EV):** 15,919.28HH
- **Actual Cost (AC):** 19,383.00HH

- **CPI (EV/AC): 0.82**
- **SPI (EV/PV): 0.86**

Figura 7

Representación gráfica Cogeneración eléctrica con vapor residual



Nota. Elaboración propia.

El CPI de 0.82 indica un sobre costo en las horas hombre. El SPI de 0.86 confirma un retraso en el uso de las horas hombre en relación con el cronograma.

3.3.3. Proyecto 3: Secador de concentrado

Tabla 11

Síntesis comparativa Secador de concentrado

Indicador	Interpretación	Secador de Concentrado	Criterios
BAM (Costo Total Estimado)		964 h	
% Planificado Acumulado		100.0%	
% Real Acumulado		85.9%	
PV (Planned Value)	Valor del trabajo que se debía ejecutar	964 h	
EV (Earned Value)	Valor del trabajo efectivamente ejecutado	828 h	
AC (Actual Cost)	Gasto real hasta la fecha	828 h	
CPI	>1 = eficiente, <1 = ineficiente en costos	1.00	eficiente en costos

SPI	>1 = adelantado, <1 = retrasado	0.86	retrasado
CV (Variación de costo)	Positivo = ahorro, Negativo = sobrecosto	0 h	neutro
SV (Variación de cronograma)	Positivo = adelantado, Negativo = retraso	-136 h	retraso
EAC (Estimación al terminar)	Proyección de costo final	964 h	
ETC (Estimación para completar)	Costo faltante para concluir	136 h	
VAC (Variación al terminar)	Positivo = ahorro esperado, Negativo = déficit	0 h	neutro

Nota. Elaboración propia.

Este proyecto es el único de los tres que cierra con indicadores de costo controlados. Con un 100% planificado y un 85.9% de avance real ejecutado, el EV y el AC son prácticamente idénticos (828 HH ambos), resultando en un CPI de 1.00, lo que significa que cada hora presupuestada generó exactamente una hora de valor: sin sobrecosto ni ahorro marginal, con una variación de costo de 0 HH y un VAC neutro. No obstante, el SPI de 0.86 indica que existe un retraso de 136 HH respecto al plan, con trabajo pendiente por completar. El EAC coincide con el BAM (964 HH), confirmando que el presupuesto total será respetado. La principal lectura es que el proyecto tiene el costo bajo control pero debe acelerar el ritmo de ejecución para cerrar la brecha de cronograma

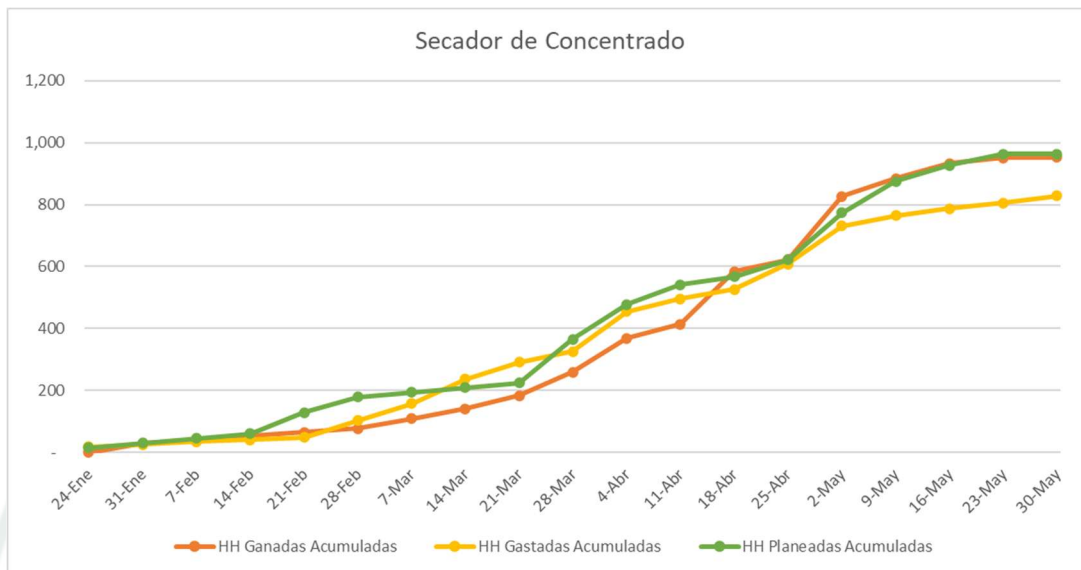
En resumen, se tiene estos resultados para el proyecto 3:

- **Planned Value (PV):** 964.00HH
- **Earned Value (EV):** 828.27HH
- **Actual Cost (AC):** 828.00HH
- **CPI (EV/AC):** 1.00

- **SPI (EV/PV): 0.86**

Figura 8

Representación gráfica Secador de concentrado



Nota. Elaboración propia.

El CPI de 1.00 indica que las horas hombre se están utilizando exactamente al costo planificado. El SPI de 0.86 sugiere que el uso de horas hombre está retrasado en relación con el cronograma.

3.4. Identificación de brechas y causas de ineficiencia

- **Brechas entre horas planificadas y reales.**

Los tres proyectos exhiben una brecha persistente entre lo planificado y lo ejecutado, reflejada en $CPI < 1$ en Subestación (0.77) y Cogeneración (0.82), lo cual evidencia sobre costo en horas (se consumen más HH de las que “se ganan”). En cronograma, $SPI < 1$ en Cogeneración (0.86) y Secador (0.86) muestra rezago de avance frente al plan; Subestación, aunque presenta $SPI = 1.03$, compensa el adelanto con presión de costo ($CPI = 0.77$).

- **Diferencias entre avance físico real y planificado.**

El $SPI < 1$ en Cogeneración y Secador confirma que el EV (avance real valorizado) está por debajo del PV (avance planificado). Esto sugiere ineficiencias por retrabajo, esperas o

secuenciación deficiente. En Subestación el leve adelanto ($SPI > 1$) se logra con mayor consumo de HH ($CPI < 1$), es decir, se gana avance a un costo superior al esperado.

- **Factores internos.**

- (1) Coordinación inter-disciplinas insuficiente (handoffs tardíos) que dispara retrabajo.
- (2) Estandarización débil de reportes y criterios de avance (EV) heterogéneos; dificulta el control.
- (3) Productividad por entregable por debajo de referencia (HH/entregable elevada), asociada a experiencia/capacidad (proporción senior:cadista y multitarea).
- (4) Planificación y nivelación de carga: picos de HH mal distribuidos y ruta crítica subestimada.

- **Factores externos.**

- (1) Cambios de alcance (RFC) y RFI con información tardía.
- (2) Aprobaciones/revisiones lentas del cliente/terceros.

Estos eventos fuerzan reprogramaciones, retrabajo y pérdida de productividad, ampliando la brecha entre PV–EV–AC.

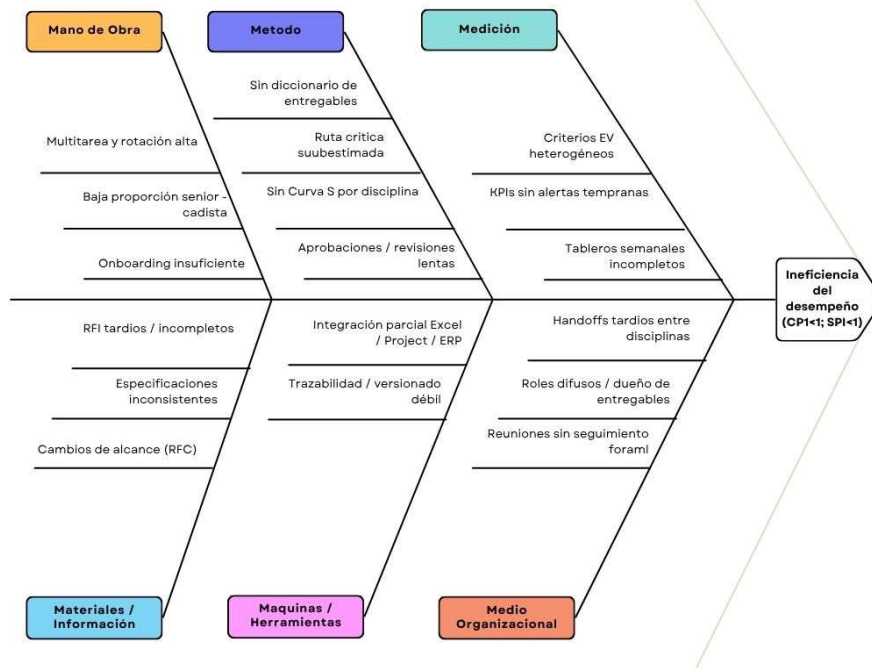
Implicancias operativas.

- $CPI < 1$ → sobreconsumo de HH: revisar productividad y asignación por disciplina.
- $SPI < 1$ → rezago: revisar secuenciación de actividades, ruta crítica y desbloqueo de entradas (RFI, aprobaciones).
- Caso Subestación: adelanto con sobrecosto → establecer controles de costo por disciplina y reducir HH/entregable sin afectar el EV.

La Figura 9 presenta el Diagrama de Causa-Efecto (Ishikawa) elaborado a partir del análisis cualitativo y cuantitativo de los tres proyectos. Las causas se organizaron siguiendo las categorías adaptadas de la metodología de las 6M al contexto de ingeniería de proyectos: Mano de Obra, Método, Medición, Materiales/Información, Máquinas/Herramientas y Medio Organizacional. El efecto identificado es la ineficiencia del desempeño operativo, expresada

en valores de CPI inferiores a 0.95 en dos de los tres proyectos (Subestación: CPI=0.77; Cogeneración: CPI=0.82) y SPI inferior a 0.95 en dos proyectos (Cogeneración: SPI=0.86; Secador: SPI=0.86).

Figura 9
Diagnostico Ishikawa del problema



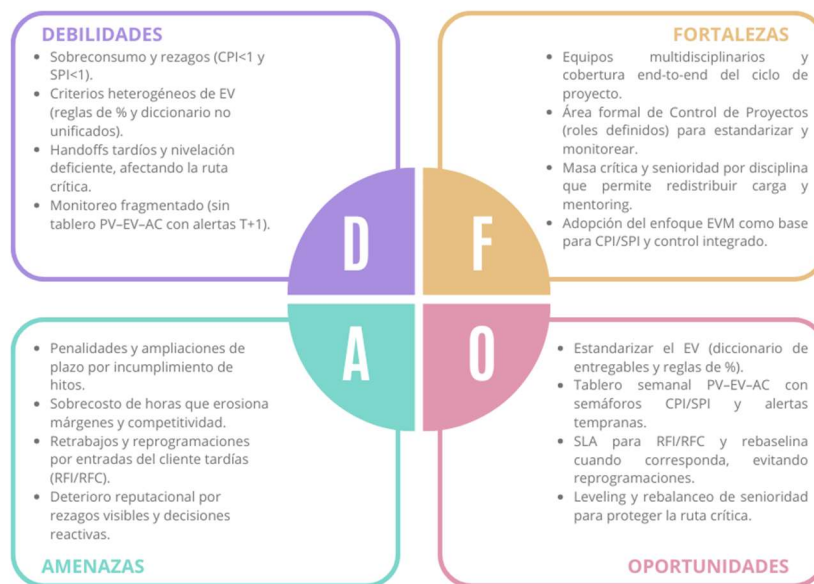
Nota. Elaboración propia.

Del análisis de causas se identificaron cinco causas raíz prioritarias: (1) la ausencia de un diccionario estandarizado de entregables equivalentes, que genera criterios de medición de EV heterogéneos entre disciplinas; (2) la subestimación de la ruta crítica en la planificación inicial; (3) la alta rotación y multitarea del personal, asociada a una proporción inadecuada de ingenieros senior respecto a cadistas; (4) los RFI tardíos e incompletos por parte del cliente, que generan reprogramaciones y retrabajo; y (5) la integración parcial entre las herramientas de control (Excel, MS Project, Power BI), que limita la trazabilidad y la generación de alertas tempranas. Estas causas se distribuyen principalmente en las categorías de Método y Mano de Obra, lo cual orienta las acciones correctivas de la propuesta presentada en el Capítulo IV.

Complementando el análisis de causas, la Figura 10 presenta un diagnóstico FODA orientado específicamente al sistema de gestión del desempeño operativo de la empresa. A

diferencia de un análisis estratégico empresarial convencional, este FODA examina las fortalezas y debilidades internas del proceso de control de proyectos, así como las oportunidades y amenazas del entorno que condicionan su eficacia. Este enfoque resulta pertinente porque permite contextualizar las causas identificadas en el Ishikawa dentro del marco de capacidades reales de la organización y los factores externos que la afectan, brindando así una base más completa para el diseño de la propuesta de mejora.

Figura 10
Diagnóstico FODA del sistema de gestión del desempeño operativo



Nota. Elaboración propia.

El FODA confirma que la empresa cuenta con fortalezas estructurales relevantes —equipos multidisciplinarios con cobertura end-to-end y un área formal de Control de Proyectos— que constituyen la base sobre la cual puede implementarse el sistema EVM estandarizado propuesto. Las debilidades detectadas, principalmente el sobreconsumo de HH (CPI<1), la heterogeneidad de criterios de EV y el monitoreo fragmentado, se corresponden directamente con las causas raíz identificadas en el Ishikawa, lo que valida la consistencia del diagnóstico. Por su parte, las oportunidades —como la estandarización del diccionario de entregables y el

tablero T+1— son precisamente los ejes centrales de la propuesta del Capítulo IV, y las amenazas —penalizaciones por incumplimiento, sobrecosto de horas y entradas tardías del cliente— refuerzan la urgencia de implementarla.

3.5. Síntesis de hallazgos cuantitativos y cualitativos

La integración de EVM y la evidencia cualitativa muestra un patrón común: sobreconsumo de horas ($CPI < 1$) y rezagos de avance ($SPI < 1$) en dos de los tres proyectos. Subestación presenta leve adelanto en cronograma ($SPI > 1$) pero con presión fuerte de costo ($CPI = 0.77$). Cogeneración exhibe la situación más crítica (CPI y $SPI < 1$). Secador mantiene costo controlado (≈ 1) con rezago de avance.

Tabla 12
Síntesis comparativa (corte analizado, en HH)

Proyecto	BA C	PV	EV	AC	C PI	SP I	EAC	VAC	Semáfor o Costo	Semáfo ro Cronogr ama	Principales señales
Subestación	15,632	5,783.84	5,976.11	7,776.00	0.77	1.03	20,340.05	-4,708.05	■	■	Adelanto con sobrecosto; picos semanales y retrabajos.
Cogeneración	20,052	18,455.86	15,919.28	19,383.00	0.82	0.86	24,414.91	-4,362.91	■	■	Alto consumo y rezago; dependencias/RFI; nivelación insuficiente.
Secador	964	964.00	828.27	828.00	1.00	0.86	963.69	0.31	■	■	Costo estable; avance por debajo del plan (gates de información).

Nota. Elaboración propia. las tasas % y HH se muestran con 2 decimales; los cálculos usan mayor precisión (posibles variaciones ± 0.1 pp). Criterios semáforo: Costo/cronograma ■ < 0.90 , ■ $0.90-1.00$, ■ > 1.00 .

Tabla 13
Matriz Causa → Efecto → Mejora propuesta

Categoría	Causa raíz	Efecto observado	Métrica	Mejora propuesta (Cap. V)	KPI de salida	Meta (≤ 90 días)	Resp.
-----------	------------	------------------	---------	---------------------------	---------------	------------------------	-------

(Ishikawa)			afectada				
Organización / Coordinación	★ Handoffs tardíos entre disciplinas	Semanas con EV bajo y AC alto; reprogramaciones	SPI, CPI	Ceremonias de handoff semanales + checklist DoR/DoD + acta T+1	% handoffs cumplidos	≥ 95%	PM / Líderes
Organización / Coordinación	Roles difusos / sin “dueño” de entregable	Retrabajo y esperas en revisiones	CPI	RACI por paquete + gate de revisión temprana	% retrabajo (HH)	≤ 5%	PM / Control
Métodos / Estándares	★ Criterios de EV heterogéneos (sin diccionario)	SPI “ruidoso”; comparaciones inválidas	SPI	Estandarizar EV: diccionario de entregables + reglas %EV por hito	Dispersión %EV (±pp)	≤ ±5 pp	Control / Líderes
Métodos / Estándares	QC/QA tardío	Retrabajos; sobreconsumo de HH	CPI	Gate de QA temprano + checklist por disciplina	% retrabajo (HH)	≤ 5%	Líderes / QA
Planificación / Cronograma	★ Nivelación deficiente (picos de carga)	AC alto sin EV correlativo	CPI	Leveling semanal por disciplina + límites de WIP + buffers	Var. semanal AC/EV	≤ ±15 %	Planificador / PM
Planificación / Cronograma	Ruta crítica subestimada	Rezagos en hitos; SPI < 1	SPI	Re-evaluación CPM, protección de ruta crítica y buffers	% hitos críticos on-time	≥ 95%	Planificador
Personas /	★ Baja proporción senior:cadista	HH/entregable elevado	CPI	Rebalanceo Sr: Cadista	HH/EE (productividad)	↓ 10–15%	Ingeniería /

Capacidad				a + plan de mentoring por disciplina			RR.HH.
Personas / Capacidad	Multitarea / rotación alta	Pérdida de foco; esperas	SPI	Política de WIP por persona + ventanas de concentración en ruta crítica	WIP medio/persona	≤ 2	PM / Líderes
Información / Cliente	★ RFI tardíos / info incompleta	Esperas y re-trabajo	SPI	SLA RFI 3–5 días + tablero de RFI con responsables y vencimientos	% RFI en SLA	≥ 90%	PM / Cliente
Información / Cliente	★ RFC sin rebaselinar	Descalce PV vs realidad; VAC inestable	SPI, CPI	Comité RFC quincenal + evaluación de impacto + rebaselina cuando aplique	% RFC evaluados en 5 días	≥ 95%	PM / Cliente
Herramientas / Monitoreo	★ Monitoreo fragmentado (Excel/Project sin tablero)	Alertas tardías; decisiones reactivas	SPI, CPI	Tablero EVM T+1 (PV–EV–AC, CPI/SPI, HH/EE, RFI/RFC, handoffs) con semáforos	Publicación T+1	100% semanas	Control

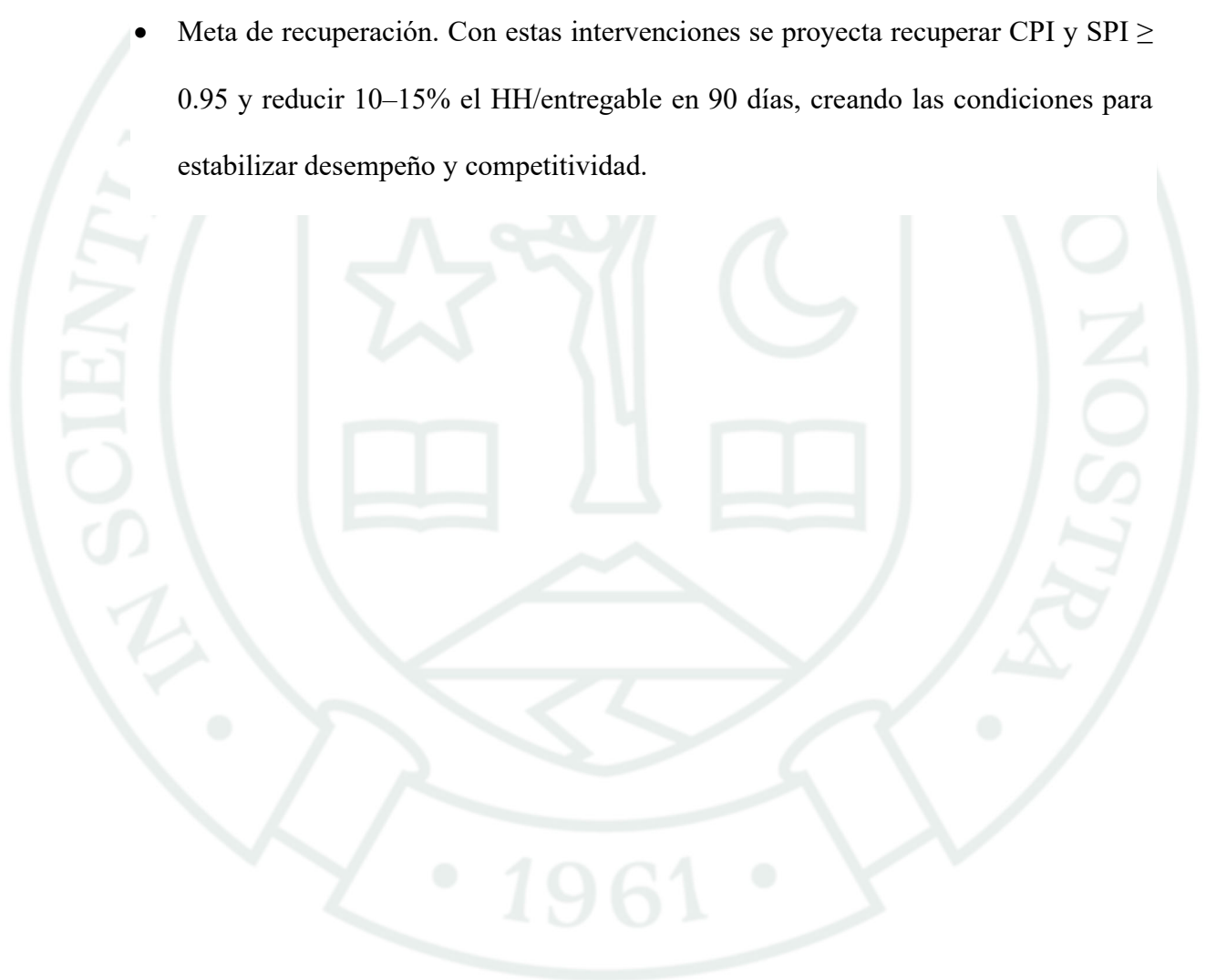
Herramientas / Monitorio	Trazabilidad/versionado débil	Reprocesos por versiones	CPI	Control documental estándar (nomenclatura + versión) o DMS	% docs con versión correcta	100 %	Control Doc.
--------------------------	-------------------------------	--------------------------	-----	--	-----------------------------	--------------	--------------

Nota. Elaboración propia

3.5.1. Conclusiones integradas

- Desempeño agregado. El diagnóstico muestra un patrón común de sobreconsumo de horas y rezagos de avance: dos de tres proyectos presentan $CPI < 1$ y dos de tres $SPI < 1$.
- Subestación. Mantiene leve adelanto de cronograma ($SPI > 1$), pero a costa de presión de costo ($CPI < 1$): el avance se logra con más HH de las previstas.
- Cogeneración. Es el frente más crítico: combina rezago ($SPI < 1$) y sobre costo ($CPI < 1$), con picos semanales donde AC crece sin EV correlativo.
- Secador. Controla costo ($\approx CPI = 1$), pero muestra rezago ($SPI < 1$) asociado a dependencias y liberación de entradas.
- Productividad por entregable. Se evidencia HH/entregable por encima de referencia en disciplinas clave; la variabilidad entre disciplinas indica brechas de capacidad/experiencia (relación senior:cadista) y retrabajos.
- Causas internas predominantes. (i) Handoffs tardíos y roles difusos generan esperas y retrabajos; (ii) criterios de EV heterogéneos distorsionan la lectura de SPI; (iii) nivelación deficiente provoca picos de carga y AC alto sin EV; (iv) monitoreo fragmentado demora las alertas.
- Factores externos relevantes. RFI/RFC tardíos y aprobaciones lentas impactan el cumplimiento de hitos y exigen replanificaciones; cuando no se rebaselina, se amplía la brecha PV–EV–AC.

- Riesgo operativo y económico. El VAC negativo en dos proyectos y la dispersión semanal de AC/EV elevan el riesgo de sobregiros y ampliaciones de plazo si no se corrigen las causas raíz.
- Oportunidad de mejora inmediata. La empresa cuenta con masa crítica técnica y un área de Control de Proyectos que permiten estandarizar el EV, implementar ceremonias de handoff, formalizar SLA para RFI/RFC con rebaselina, aplicar leveling y operar un tablero EVM T+1 con alertas.
- Meta de recuperación. Con estas intervenciones se proyecta recuperar CPI y SPI \geq 0.95 y reducir 10–15% el HH/entregable en 90 días, creando las condiciones para estabilizar desempeño y competitividad.





CAPÍTULO IV

4. Propuesta de Mejora

4.1. Objetivo y alcance

- Objetivo. Recuperar la eficiencia en costo y cronograma mediante un sistema operativo de control EVM que estandarice el EV, reduzca retrabajos y establezca la productividad por disciplina.

Metas guía. CPI y SPI ≥ 0.95 y $\downarrow 10-15\%$ HH/entregable en 90 días.

- Alcance. Proyectos de ingeniería básica, de detalle y conceptual; medición principal en horas-hombre (derivable a S/.); control semanal T+1.

4.2. Arquitectura de la solución (mejoras)

4.2.1. Estandarización del Earned Value (EV)

En proyectos multidisciplinarios, el EV suele calcularse con criterios heterogéneos (por tipo de documento, por equipo o incluso por contrato). Esto genera: (i) comparaciones inválidas del SPI entre paquetes, (ii) sesgos al priorizar, (iii) falta de trazabilidad entre entregables, hitos y %EV, y (iv) auditorías difíciles por ausencia de evidencias estandarizadas. La solución establece un diccionario único de entregables equivalentes (EE) con pesos, reglas de %EV por hitos bajo un modelo alfanumérico y curvas S por disciplina y global, con responsables y KPIs claros.

Tabla 14
Diccionario de entregables

Disciplina	Tipo de entregable	Peso EE
Civil	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.4
Civil	Disposición (Layout)	0.3
Civil	Arreglo General	0.6
Civil	Diseño	0.7
Civil	Plataforma	0.7
Civil	Secciones y Detalles	0.4
Concreto	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.4
Concreto	Memoria de Calculo	1.0
Concreto	Disposición (Layout)	0.3
Concreto	Arreglo General	0.6
Concreto	Secciones y Detalles	0.7
Concreto	Concreto (Fundaciones, Formas y Armaduras)	0.4
Estructura Metálica	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.4

Estructura Metálica	Memoria de Calculo	1.0
Estructura Metálica	Diseño Estructural	0.7
Estructura Metálica	Disposición	0.4
Estructura Metálica	Arreglo General	0.3
Estructura Metálica	Diseño de estructuras	0.4
Mecánica	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.3
Mecánica	Arreglo General	0.3
Mecánica	Disposición (Layout)	0.7
Mecánica	Diseño Mecánico - Plantas, Detalles y Secciones	0.6
Tuberías	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.7
Tuberías	Diseño de Tuberías - Plantas, Detalles y Secciones	0.7
Tuberías	Arreglo General de Tubería (Pipe Line)	0.4
Tuberías	Cuadernillo de Isométricos	0.6
Tuberías	Sistema Contra Incendio	0.4
Electricidad	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.6
Electricidad	Diagramas Unilineales	0.4
Electricidad	Diagramas de Cableado	0.4
Electricidad	Disposición Eléctrica	0.4
Arquitectura	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.4
Arquitectura	Arreglo General y Plantas de Conjunto	0.4
Arquitectura	Plantas, Alzados y Secciones	0.4
Instrumentación	Criterios de diseño y especificaciones técnicas	0.5
Instrumentación	Diagrama de Proceso e Instrumentación (P&ID)	0.4
Instrumentación	Diagrama de Bloque Sistema de Control	0.4
Instrumentación	Sistema de Comunicación y CCTV	0.3
Instrumentación	Diagrama de Lazo	0.4
Instrumentación	Panel de instrumentación	0.3
Instrumentación	Listado de Instrumentos	0.3
Instrumentación	Disposición de Instrumentos	0.3
Instrumentación	Sistema Contra Incendio	0.4

Nota. Elaboración propia.

Los valores asignados en el diccionario de entregables equivalentes fueron validados mediante juicio experto por el jefe de proyectos y los responsables de cada disciplina, quienes cuentan con experiencia en la planificación y control de proyectos de ingeniería multidisciplinaria. Esta validación permitió asegurar que los pesos asignados reflejen de manera adecuada el esfuerzo relativo y la complejidad técnica de cada tipo de entregable dentro del contexto real de ejecución de los proyectos analizados (Véase Anexo 1).

Se cuenta con diversas reglas de porcentaje ganado aplicadas según el tipo de proyecto y el alcance contractual; no obstante, la definición final de dichas reglas recae en la empresa contratante, que establece los criterios y umbrales de medición conforme a sus políticas de control y reporte. Entre las alternativas existentes, el esquema que con mayor frecuencia se utiliza y que, además, ha logrado una mayor estandarización en nuestra cartera es el modelo alfanumérico. Este modelo combina hitos cualitativos (letras) y cuantitativos (números) para reflejar de forma ordenada el grado de avance alcanzado, facilitando la trazabilidad entre entregables, actividades y métricas de desempeño.

La adopción del modelo alfanumérico permite homologar criterios entre proyectos de distinta naturaleza, mejorar la transparencia en el seguimiento del progreso y reducir la ambigüedad al momento de asignar porcentajes de cumplimiento a tareas interdependientes. Asimismo, favorece la verificación externa —por parte del cliente o de auditorías— al vincular cada nivel de avance con evidencias objetivas (documentación aprobada, pruebas superadas, hitos firmados, etc.). En el siguiente cuadro se presenta la estructura del modelo, la interpretación de cada código y los porcentajes asociados a cada hito, junto con notas de aplicación y consideraciones para casos especiales.

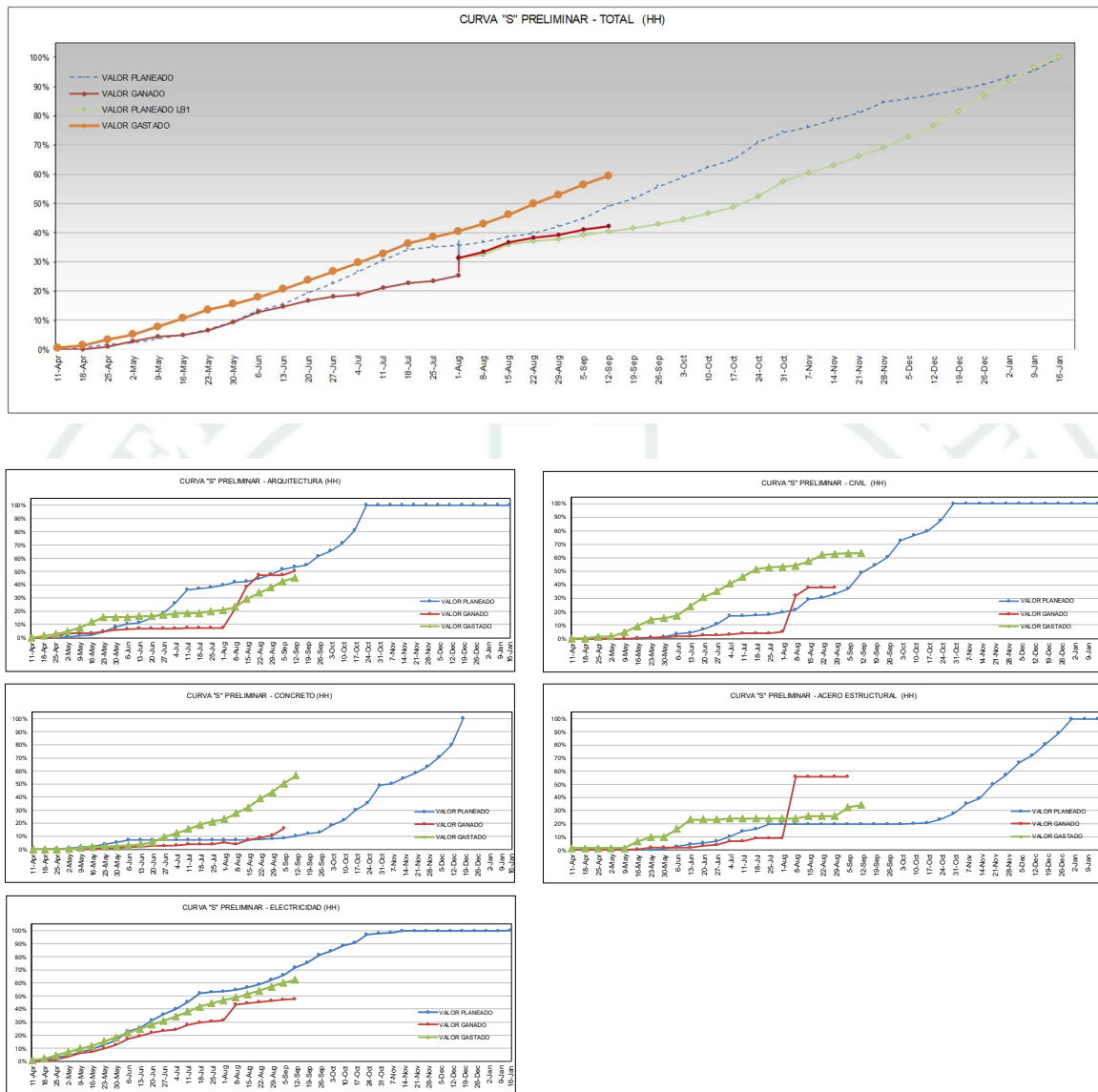
Tabla 15
Reglas de porcentaje ganado

Inicio	A	B	C	0	1	2	3
5%	25%	65%	65%	100%	100%	100%	100%

Nota. Elaboración propia.

Así mismo se detallan las curvas S por disciplina y global (PV–EV–AC).

Figura 11
Propuestas para Curvas S total y por disciplina



Nota. Elaboración propia.

La plantilla que se debe completar se muestra en la tabla 16:

Tabla 16
Plantilla propuesta PV-EV-AC

Nombre de documento	AC	Iniciado 5%	Rev A 25%	Rev B 65%	Rev 0 100%	EV	EV %	Valor Gastado
CIVIL (CI)								
Criterio de diseño Civil (Actualización)	30	5%	25%	65%	100%	30	100%	

Especificaciones Técnicas Civil (Actualización)	30	5%	25%	65%	100%	30	100%
Especificaciones Técnicas Civil (Actualización)	30	5%	25%	65%	100%	30	100%
Planos Estándar - Civil HOJA 1/6	30	5%	25%	65%	100%	30	100%
Planos Estándar - Civil HOJA 2/6	30	5%	25%	65%	100%	30	100%
Planos Estándar - Civil HOJA 3/6	30	5%	25%	65%	100%	30	100%
Planos Estándar - Civil HOJA 4/6	30	5%	25%	65%	100%	30	100%
Concreto (CN)							
Criterios de Diseño Estructural (Actualización)	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Especificaciones Técnicas Concreto Armado (Actualización)	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Plano Estándar - Concreto. Notas Generales para Concreto	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Plano Estándar - Concreto. Pernos de Anclaje	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Plano Estándar - Concreto. Pernos de Anclaje de Expansión y Químicos	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Acero Estructural (SS)							
Especificación Técnica Acero Estructural (Actualización)	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Especificación Técnica Acero Estructural (Actualización)	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Plano Estándar - Acero Estructural. Notas General para Acero Estructural	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
Plano Estándar - Acero Estructural. Detalles de Barandas	20	5%	25%	65%	100%	20	100%

Plano Estándar - Acero Estructural. Detalle de Escaleras	20	5%	25%	65%	100%	20	100%
---	----	----	-----	-----	------	----	------

Nota. Elaboración propia.

Los responsables de la Estandarización del Earned Value se muestran en la siguiente matriz

RACI

Tabla 17
Matriz RACI de los responsables

Rol	Definir y mantener el diccionario o EE	Aprobar reglas de %EV por hitos y modelo alfanumérico	Publicar curvas S (PV-EV-AC) y seguimiento de SPI	Auditoría de evidencias y dispersión %EV	Actualización de estados/hitos en repositorio
PM	A	A	I	I	I
Control de Proyectos	R	R	R	R	C
Líderes de disciplinas	C	C	C	C	R

Nota. Elaboración propia. Leyenda: R = responsable, A = Aprueba, C = Consultado, I = Informado.

Para el control se detalla los indicadores de revisión:

Tabla 18
Tabla KPI/Meta

KPI	Fórmula	Meta	Frecuencia	Responsable
Dispersión %EV	Desvío absoluto entre equipos para un mismo estado del entregable (puntos porcentuales)	$\leq \pm 5$	Quincenal	Control de Proyectos
SPI	EV / PV	≥ 0.95	Semanal	Control de Proyectos
Cumplimiento de publicación	% de semanas con curvas S emitidas	$\geq 95\%$	Mensual	Control de Proyectos
Cobertura de evidencias	% de ítems con evidencia vinculada al código/hito	$\geq 98\%$	Mensual	Líderes / Control

Nota. Elaboración propia.

4.2.2. Ceremonias de handoff interdisciplinario

Las ceremonias de handoff buscan asegurar transferencias oportunas y con calidad entre disciplinas, evitando esperas, retrabajos y variabilidad del %EV. Aplica a todo paquete de trabajo con interfases entre al menos dos disciplinas el procedimiento a seguir es el siguiente:

1. **Plan semanal (D-2):** El Planner publica la lista de handoffs previstos para T+1/T+2, indicando paquete, disciplina origen/destino, dependencia, criticidad y si afecta ruta crítica.
2. **Pre-chequeo (D-1):**
 - a. Origen valida DoD (Definition of Done): entregable completo, versión vigente, revisiones aprobadas, N/C cerradas, evidencia objetiva.
 - b. Destino valida DoR (Definition of Ready): alcance claro, RFI relevantes cerradas, recursos disponibles, criterios de aceptación explicitados.
 - c. Cualquier brecha se registra como “gap” con responsable y fecha compromiso.
3. **Ceremonia semanal (30–45’ por paquete):** Timebox estricto con agenda tipo; se confirman handoffs T+1/T+2, se levantan bloqueadores y se cierran acuerdos (qué—quién—cuándo—evidencia).
4. **Acta T+1 (≤24h):** Emisión de minuta estándar y actualización en tablero; se enlaza evidencia verificable (URL/folio) y versión.
5. **Verificación y cierre (D+1...D+3):** Control/PMO audita $\geq 10\%$ de handoffs. Los que afectan ruta crítica se validan de inmediato y se elevan cambios a 5.2.3 si corresponde.
6. **Retro semanal:** Revisión de métricas (cumplimiento, retrabajo, N/C) y lecciones aprendidas “rápidas” para prevenir recurrencias.

Tabla 19
Agenda tipo

Bloque	Duración	Objetivo	Entradas	Salidas
Apertura y bloqueadores	5'	Visibilizar impedimentos críticos	Lista de riesgos/bloqueos	Acciones inmediatas y responsables
Revisión handoffs T+1/T+2	15–25'	Confirmar requisitos DoR/DoD y fechas	Plan semanal, checklists	Compromisos por ítem (qué–quién–cuándo–evidencia)
Afectación a ruta crítica	5'	Determinar re-secuenciación/es calamientos	Cronograma actualizado	Decisiones (ajuste/escala a RFI/RFC)
Cierre	5'	Resumen y próximos pasos	Acta borrador	Acta T+1 y actualización de tablero

Nota. Elaboración propia.

Tabla 20
Cuadro checklists DoR (Definition of Ready)

Ítem	Descripción	Estado (Sí/No)	Evidencia/Enlace
Alcance claro	Descripción y límites del entregable		
Versión vigente	Planos/especificaciones actualizadas		
RFI relacionadas	Cerradas o con respuesta provisional		
Recursos disponibles	Personas, materiales, permisos		
Criterios de aceptación	Medibles y acordados		
WIP	Dentro de límites de disciplina		

Nota. Elaboración propia.

Tabla 21
Cuadro checklist DoD (Definition of Done)

Ítem	Descripción	Estado (Sí/No)	Evidencia/Enlace
Entregable completado	100% del contenido comprometido		
Versionado	Subido a repositorio con código/versión		
Revisión cruzada	Aprobada por disciplina revisora		
No conformidades	Cerradas o con disposición aceptada		
Evidencia objetiva	Reportes, fotos, certificados, pruebas		

%EV actualizado	Reflejado en sistema de control
------------------------	---------------------------------

Nota. Elaboración propia.

Tabla 22

Plantilla Formato de Acta T+1

Campo	Contenido
Paquete / Ítem	
Origen → Destino	
Fecha objetivo	
Acuerdos (qué–quién–cuándo)	
Evidencia verificable (URL/folio)	
Impacto (EV/PV/AC)	
Observaciones / riesgos	

Nota. Elaboración propia.

Los responsables se detallan a continuación:

Tabla 23

Matriz RACI de los responsables

Rol	Planificar	Ejecutar DoD	Validar DoR	Auditar evidencias	Escalar bloqueos
PM	C	I	I	C	A
Líder disciplina	C	R	R	I	R
Control de Proyecto	R	I	I	I	C
Cliente/Stakeholders	I	I	I	I	I

Nota. Elaboración propia. Leyenda: R = responsable, A = Aprueba, C = Consultado, I = Informado.

Las metas se detallan en la siguiente tabla de indicadores:

Tabla 24

Tabla KPI/Meta

KPI	Fórmula	Meta	Frecuencia	Responsable
% handoffs a tiempo	$\text{Handoffs} \leq \text{fecha objetivo} / \text{Handoffs planificados} \times 100$	$\geq 95\%$	Semanal	Control
SPI	EV / PV	≥ 0.95	Semanal	Control

Retrabajo por handoff	N° N/C ligadas a handoff / total entregables	↓ Tendencia	Quincenal	Control
Lead time handoff	Fecha aceptación – Fecha “Ready”	↓ Tendencia	Mensual	PM

Nota. Elaboración propia. Reglas de control: 2 semanas <95% → acción correctiva (refuerzo DoR/DoD, coaching, ajuste de WIP)

4.2.3. Gobernanza de RFI/RFC y rebaselina

Para establecer un proceso único y medible se detallan los procesos para consultas (RFI) y cambios (RFC), con SLAs, criterios de materialidad y rebaselina formal cuando varíen BAC/plazo. Aplica a contrato principal y subcontratos críticos.

- Proceso del RFI
 - Ingreso: Formulario con metadatos (paquete, disciplina, descripción, impacto, fecha límite, adjuntos).
 - SLA: 3–5 días hábiles según criticidad (3 = ruta crítica; 5 = no crítico).
 - Asignación: PM define responsable técnico y prioridad.
 - Seguimiento: Tablero RFI con estados: Nuevo → En análisis → Con cliente → Respondido → Cerrado.
 - Escalamiento: D+3 sin respuesta → alerta a cliente; D+5 (si bloquea) → comité o acuerdo ad hoc

Tabla 25
Plantilla seguimiento RFI

Campo	Descripción
Código RFI	RFI-AAAA-###
Fecha de ingreso	
Paquete/Disciplina	
Descripción de la consulta	
Impacto estimado (tiempo/costo/calidad)	
Criticidad (Crítica/Alta/Media/Baja)	
Fecha límite	
Responsable técnico	
Adjuntos / enlaces	
Estado	

Nota. Elaboración propia.

- Proceso RFC
 - Propuesta: RFC con motivo, alcance, alternativas, supuestos, riesgos y evidencia.
 - Análisis de impacto: tiempo (ruta crítica), costo (BAC/curvas S), alcance/calidad (WBS/criterios), riesgo (prob×imp).
 - Comité quincenal/ad hoc: PM (R/A), Cliente (A/R según contrato), Control/PMO (C), Finanzas/Legal (C), Líder técnico (C).
 - Decisión: Aprobar / Diferir / Rechazar, con condiciones (financiamiento, plazo, criterios de aceptación).
 - Implementación: Actualizar cronograma, presupuesto y documentos.
 - Rebaselina: Obligatoria si cambia BAC o plazo; emitir Baseline vN con bitácora de diferencias.
 - Comunicación: Boletín de cambios + actualización del registro contractual y Plan Integrado.

Tabla 26
Plantilla seguimiento RFC

Campo	Descripción
Código RFC	RFC-AAAA-###
Fecha de ingreso	
Motivo del cambio	
Alcance propuesto	
Alternativas consideradas	
Análisis de impacto (tiempo)	
Análisis de impacto (costo/BAC)	
Análisis de impacto (calidad/alcance)	
Análisis de riesgo	
Recomendación técnica	
Decisión comité	
Condiciones (financiamiento/plazo)	
Fecha de vigencia	

Nota. Elaboración propia.

Los responsables de la gobernanza de RFI/RFC y rebaselina se muestran la matriz RACI:

Tabla 27
Matriz RACI RFI/RFC

Rol	RFI Ingreso/Análisis	RFC Análisis	Comité	Rebaselina	Comunicación
PM	R	R/A	A	A	R
Cliente	C/R (según info)	A/R (según contrato)	A	C	C
Control de Proyecto	C	C	C	R (método)	R
Líder de disciplina	R	R	C	C	I
Finanzas/Legal	I	C	C	C	I

Nota. Elaboración propia. Leyenda: R = responsable, A = Aprueba, C = Consultado, I = Informado.

Los indicadores meta estabilizados tras rebaselina se detallan a continuación:

Tabla 28
Cuadro KPI/Meta

KPI	Fórmula	Meta	Frecuencia	Responsable
% RFI en SLA	$RFI \text{ cerradas} \leq SLA / RFI \text{ cerradas} \times 100$	$\geq 90\%$	Semanal	PM/Control
Lead time RFC	Mediana (ingreso → decisión)	↓ Tendencia	Mensual	PM
RFC mayores con rebaselina	RFC aprobadas con impacto en BAC/plazo que cuentan con Baseline vN / total RFC mayores	100%	Mensual	Control
Estabilización pos-rebaselina	$SPI=EV/PV$; $CPI=EV/AC$	$SPI/CPI \geq 0.95$ a 2-3 cortes	Quincenal	Control

Nota. Elaboración propia.

4.2.4. Planificación y nivelación de recursos (leveling)

Para reducir picos de AC no correlacionados con EV, estabilizando CPI y evitando sobreasignaciones (cuellos de botella). Aplica a roles críticos y paquetes con alta variabilidad se describen los principios y procesos de Leveling

- Principios y reglas operativas
 - WIP por disciplina: Máx. 2–3 paquetes simultáneos por célula/equipo.
 - Buffers: De proyecto (fecha final) y de alimentación (cadenas críticas).
 - Ventanas de cambio: Ajustes de capacidad sólo en slots semanales (evitar “latigazo”).
- Proceso de leveling
 - Revisión de ruta crítica (semanal): Validar holguras, impactos de RFI/RFC y re-secuenciar si procede.
 - Simulación de capacidad (rolling 4–6 semanas): Cruzar demanda (cronograma) vs capacidad (FTE/turnos/contratas) por rol; identificar picos/ociosidad.
 - Aplicación de leveling: Secuenciar para aplanar picos; mover paquetes no críticos; ajustar WIP; activar buffers si la cadena está en riesgo.
 - Señales de control: Disparadores para redistribución ($CPI < 0.95$ dos semanas; $|AC - EV|/EV > 15\%$; colas $> X$ días).
 - S&OP de proyecto (semanal): Reunión PM–Planner–Líderes–Control para sincronizar demanda/capacidad y validar reasignaciones.
 - Bloqueo de horas no productivas: Reservar en plan mantenimientos, permisos y restricciones logísticas.

Cuadro 5.2.4.

Tabla 29

Plantilla de planificación

Disciplina/ Rol	Capaci- dad (FTE)	Carga planifi- cada (FTE)	Car- ga real (FTE)	Utiliza- ción (%)	W IP	Doc/ Dwg	Restricciones/Obse- rvaciones	Señ- al
Electricida- d	5	4.6	4.9	92%	3			
Civil	6	5.2	5.6	93%	3			

Concreto	3	2.2	3.3	110%	4
Estructuras	4	3	3.1	78%	2
Arquitectura	2.5	1.8	1.6	64%	2
Instrumentación	3.5	3.7	3.2	106%	3

Nota. Elaboración propia.

Los responsables se detallan en la matriz RACI de leveling.

Tabla 30
Matriz RACI leveling

Rol	Simulación	Priorización	Aprobación cambio	Ejecución	Seguimiento
PM	C	A	A	C	R
Líderes de disciplina	C	C	C	R	I
Control de Proyectos	R	C	C	R	R

Nota. Elaboración propia. Leyenda: R = responsable, A = Aprueba, C = Consultado, I = Informado.

A continuación, se detallan las metas:

Tabla 31
Cuadro KPI/Meta

KPI	Fórmula	Meta	Frecuencia	Responsable	Semanal	Control
Desbalance AC/EV		$AC - EV$	$\frac{\max(EV, \epsilon)}{\max(EV, \epsilon)} \times 100$	$\leq 15\%$		
CPI	EV / AC	≥ 0.95	Semanal	Control		
Cumplimiento WIP	Semanas sin exceder límites / semanas totales $\times 100$	$\geq 90\%$	Mensual	PM/Planner		
Utilización balanceada	70–85% en roles críticos	70–85%	Semanal	Planner		

Nota. Elaboración propia.

4.2.5. Rebalanceo Sr: Cadista + mentoring

Para atacar cuellos de botella con baja productividad (HH/EE) se desarrollara un rebalanceo de senioridad y un plan de mentoring estructurado de 8 semanas con esto se busca reducir 10–15% las horas por entregable equivalente y estabilizar el $CPI \geq 0.95$.

Tabla 32

Mapa de capacidad y productividad

Campo	Qué significa	Cómo se llena	Umbral/Regla
Disciplina / Célula	Equipo operativo (p.ej., "Electricidad / E-01")	Catálogo de equipos/células	—
Sr/Mid/Cadistas (FTE)	Capacidad por nivel	Horas disponibles/estándar (FTE)	Declarar ausencias y no productivas
Ratio Sr: Cad	Senior por cada cadista	Sr FTE / Cadistas FTE → mostrar 1:x	Objetivo $\geq 1:2$
WIP	Paquetes simultáneos	Conteo de paquetes activos en la célula	Máx. 2–3
HH/EE (base)	Línea base histórica	Promedio de 4–8 semanas previas	—
HH/EE (semana)	Productividad actual	HH reales / EE producidos	Meta $\downarrow 10\text{--}15\%$ vs base
Obserciones	Causas y acciones	Bloqueos, cambios de personal, soporte cruzado	Debe enlazar acta/acción

Nota. Elaboración propia. Si Ratio $< 1:2$ y HH/EE \uparrow , rebalancear (mover Sr/Mid o bajar WIP). Si HH/EE \downarrow y WIP en regla, sostener pairing.

Tabla 33

Plan de mentoring de 8 semanas

Semana	Competencia foco	Actividades sugeridas	Evidencia exigida	Relación con DoD
1–2	Estándares corporativos	Repaso de plantillas, capas, librerías	Checklist firmado	Plantilla + nomenclatura OK
3–4	Buenas prácticas de modelado	Casos guiados + revisión Sr	Planos con comentarios	Revisión cruzada OK
5–6	Automatización/atajos	Xrefs, layouts, scripts; macros	Script/plantilla publicada	Disminuye tiempo ciclo
7–8	Calidad y cierre DoD	Autoinspección y control de versiones	Entregable DoD 100%	Evidencia en DMS

Nota. Elaboración propia. Cómo se gestiona: el Sr abre tickets de coaching, asigna micro-retos y documenta mejoras con ejemplos antes/después

Los responsables se muestran en la tabla 34:

Tabla 34*Matriz RACI responsables*

Actividad	Aprobar rebalanceo y metas	Elaborar mapa de capacidad	Asignar mentoring (pares)	Seguimiento HH/EE y reportes
PM	A	I	I	A
Ingeniería	R	R	R	R
RR.HH.	C	C	C	I

Nota. Elaboración propia. Leyenda: R = responsable, A = Aprueba, C = Consultado, I = Informado.

Los indicadores se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 35*Cuadro KPI/Meta*

KPI	Fórmula	Meta	Frecuencia	Responsable
HH/EE (frentes críticos)	HH reales / EE producidos	↓ 10–15% vs línea base	Quincenal	Ingeniería
CPI	EV / AC	≥ 0.95	Semana 1	PM/Ingeniería
Cumplimiento ratio Sr: Cad	Células con ratio ≥ 1:2 / total células	≥ 90%	Semana 1	Ingeniería

Nota. Elaboración propia.

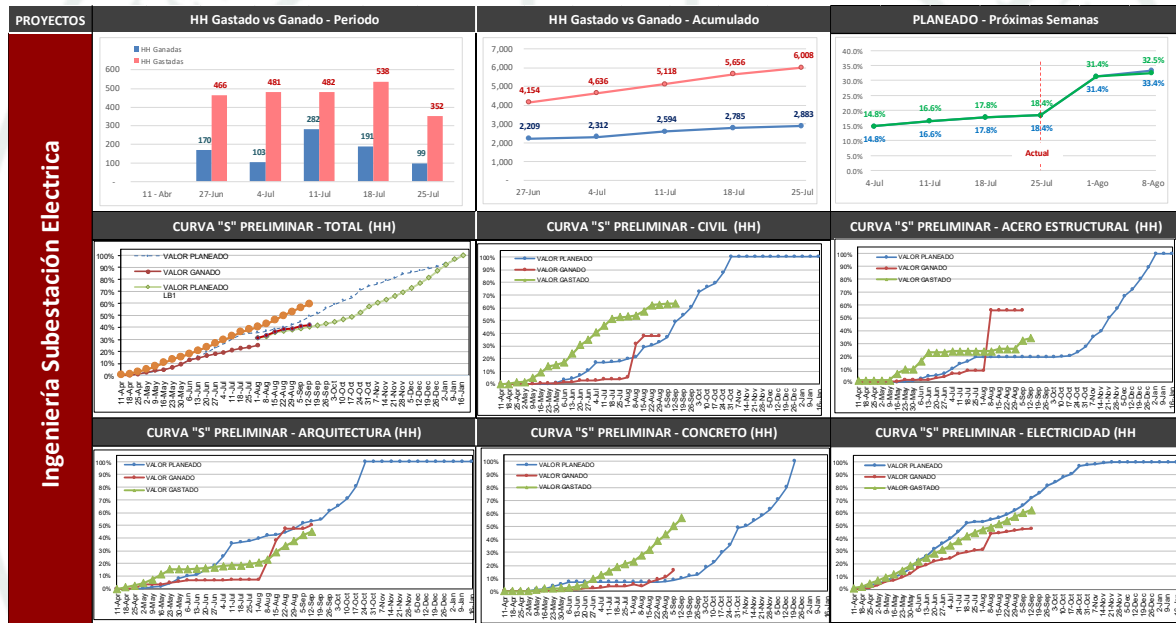
Gatillos: dos semanas sin mejora → ajustar pairing o reducir WIP; HH/EE fuera de meta → sprint kaizen de calidad.

4.2.6. Tablero EVM T+1 y alertas tempranas

Con el fin de evitar decisiones reactivas por falta de visibilidad se debe garantizar que a T+1 (≤ 24 h del corte) por lo tanto se desarrolla un dashboard con PV–EV–AC, CPI/SPI, HH/EE, RFI/RFC, handoffs y semáforos (Rojo < 0.90 ; Ámbar $0.90–1.00$; Verde > 1.00).

Figura 12
Dashboard

			11-Abr	18-Abr	25-Abr	2-May	9-May	16-May	23-May	30-May	6-Jun	13-Jun	20-Jun	27-Jun	4-Jul	11-Jul	18-Jul	25-Jul	1-Ago	8-Ago	15-Ago	22-Ago	29-Ago	5-Set	12-Set	
IV	Programa Base VALOR PLANEADO	Semanal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		Acum	4	72	128	79	151	192	211	306	502	246	486	409	474	490	451	114	63	140	207	168	283	325	511	
		% parcial	0.0%	0.6%	1.0%	0.6%	1.2%	1.6%	1.7%	2.5%	4.1%	2.0%	4.0%	3.3%	3.9%	4.0%	3.7%	0.9%	0.5%	1.1%	1.7%	1.4%	2.3%	2.7%	4.2%	
EV	PROGRESO ACTUAL VALOR GANADO	Semanal	5.0	5.0	116.0	209.0	202.6	74.2	196.2	328.3	444.6	205.9	252.1	170.0	102.9	281.9	191.0	98.5	219.7							
		Acum	5.0	10.0	126.0	335.0	537.6	611.8	808.0	1,136.3	1,580.9	1,786.7	2,038.8	2,208.8	2,311.7	2,593.6	2,784.6	2,883.1	3,102.9							
		% parcial	0.0%	0.0%	0.9%	1.7%	1.7%	0.6%	1.6%	2.7%	3.6%	1.7%	2.1%	1.4%	0.8%	2.3%	1.6%	0.8%	1.8%							
EVI	PROGRESO ACTUAL VALOR GANADO	Semanal																	4,903	311	509	252	132	319	158	
		Acum																	4,903	5,214	5,723.3	5,975.8	6,107.4	6,426.6	6,584.9	
		% acum																	31.4%	33.4%	36.6%	36.2%	39.1%	41.1%	42.1%	
FRCT	VALOR PLANEADO I VALOR PLANEADO	Semanal																	4,903	178	553	149	139	189	189	
		Acum																	4,903	5,081	5,634	5,783	5,922	6,111	6,300	
		% parcial																	31.4%	1.1%	3.5%	1.0%	0.9%	1.2%	1.2%	
AC	VALOR GASTADO	Semanal	83.25	#####	#####	#####	#####	448.00	447.50	315.00	360.00	434.25	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	
		Acum	83.25	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
		% parcial	0.53%	0.87%	1.91%	1.76%	2.69%	2.87%	2.86%	2.02%	2.30%	2.78%	3.01%	2.98%	3.08%	3.09%	3.44%	2.25%	2.01%	2.49%	3.18%	3.68%	3.16%	3.48%	2.98%	
		% acum	0.53%	1.41%	3.31%	5.07%	7.76%	10.63%	13.49%	17.81%	20.59%	23.60%	26.58%	29.65%	32.74%	36.18%	38.43%	40.44%	42.94%	46.12%	49.80%	52.96%	56.43%	59.41%		
		CPI	0.1	0	0.4	0.8	0.5	0.2	0.4	1	1.2	0.5	0.5	0.4	0.2	0.6	0.4	0.3	0.7	0.8	1	0.4	0.3	0.6	0.3	
		SPI	1.3	0.1	0.9	2.7	1.3	0.4	0.9	1.1	0.9	0.8	0.5	0.4	0.2	0.6	0.4	0.9	3.5	1.8	0.9	1.7	0.9	1.7	0.8	



PROYECTO:	Tendencia SPI/CPI	Tendencia CPI	INDICADORES																												
Ingeniería Subestación Eléctrica		<p>SEMANA: 12-Set 8-Set</p> <p>CPI: 0.34</p> <p>SPI: 0.84</p> <p>1: 1</p> <p>2: 1</p> <p>3: 0</p> <p>4: -1</p> <p>5: 0</p> <p>6: 0</p> <p>7: 0</p> <p>8: 0</p> <p>9: 0</p> <p>10: 0</p> <p>11: 0</p> <p>12: 0</p> <p>13: 0</p> <p>14: 0</p> <p>15: 0</p> <p>16: 0</p> <p>17: 0</p> <p>18: 0</p> <p>19: 0</p> <p>20: 0</p> <p>21: 0</p> <p>22: 0</p> <p>23: 0</p> <p>24: 0</p> <p>25: 0</p> <p>26: 0</p> <p>27: 0</p> <p>28: 0</p> <p>29: 0</p> <p>30: 0</p> <p>31: 0</p> <p>32: 0</p> <p>33: 0</p> <p>34: 0</p> <p>35: 0</p> <p>36: 0</p> <p>37: 0</p> <p>38: 0</p> <p>39: 0</p> <p>40: 0</p> <p>41: 0</p> <p>42: 0</p> <p>43: 0</p> <p>44: 0</p> <p>45: 0</p> <p>46: 0</p> <p>47: 0</p> <p>48: 0</p> <p>49: 0</p> <p>50: 0</p> <p>51: 0</p> <p>52: 0</p> <p>53: 0</p> <p>54: 0</p> <p>55: 0</p> <p>56: 0</p> <p>57: 0</p> <p>58: 0</p> <p>59: 0</p> <p>60: 0</p>	<p>GENERAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> % Planeado: 40.30% % Ganado: 42.13% % Gastado: 59.35% <p>HH Total: 15,632 h</p> <p>HH Consumidas: 9,278 h</p> <p>Δ Horas: 2063 h</p> <p>Δ Costo: \$ 204,637</p>																												
	<p>SEMANA: 12-Set 8-Set</p> <p>Entregables Equivalentes: und 8</p> <p>Horas por Entregable: hh/und 63</p> <p>ACUMULADO: 12-Set</p> <p>Entregables Equivalentes: und 546</p> <p>Entregables Equivalentes: und 230</p> <p>Horas por Entregable - PPTO: hh/und 21</p> <p>Horas por Entregable - Actual: hh/und 40</p> <p>Ratio Costo/Hora - PPTO: \$/hh 134.3</p> <p>Ratio Costo/Hora - Actual: \$/hh 76.0</p>																														
POE / Acciones																															
	Handoffs	RFI	RFC																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Fecha objetivo</th> <th>Handoff planificado</th> <th>Fecha real</th> <th>Cumple</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Entrega paquete civil</td> <td>10-Oct SI</td> <td></td> <td>10-Oct SI</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Fecha objetivo	Handoff planificado	Fecha real	Cumple	Entrega paquete civil	10-Oct SI		10-Oct SI		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Fecha emisión</th> <th>Fecha respuesta</th> <th>SLA (días)</th> <th>Cumple</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RFI 102 - Soporte acero</td> <td>2-Oct</td> <td>4-Oct</td> <td>2.00 SI</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Fecha emisión	Fecha respuesta	SLA (días)	Cumple	RFI 102 - Soporte acero	2-Oct	4-Oct	2.00 SI		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Fecha emisión</th> <th>Fecha SLA (días)</th> <th>Cumple</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RFI 14 - Cambio Fundaciones</td> <td>2-Oct</td> <td>#</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Fecha emisión	Fecha SLA (días)	Cumple	RFI 14 - Cambio Fundaciones	2-Oct	#	
Descripción	Fecha objetivo	Handoff planificado	Fecha real	Cumple																											
Entrega paquete civil	10-Oct SI		10-Oct SI																												
Descripción	Fecha emisión	Fecha respuesta	SLA (días)	Cumple																											
RFI 102 - Soporte acero	2-Oct	4-Oct	2.00 SI																												
Descripción	Fecha emisión	Fecha SLA (días)	Cumple																												
RFI 14 - Cambio Fundaciones	2-Oct	#																													

Nota. Elaboración propia.

Los responsables se conformarán por Control y PM.

Tabla 36
Matriz RACI responsables

Actividad	Control	PM
Armar fuentes de datos y modelado	R	C
Construir/publicar dashboard T+1	R	A
Validar integridad de cifras	R	A
Decidir acciones por alertas	C	A

Nota. Elaboración propia. Leyenda: R = responsable, A = Aprueba, C = Consultado.

En la tabla 37 se muestran los indicadores a evaluar

Tabla 37
Cuadro KPI/Meta

KPI	Definición	Meta	Frecuencia	Responsable
Publicación T+1	% semanas con dashboard emitido en $\leq 24h$	1	Semanal	Control
Exactitud de datos	% coincidencia con sistema fuente	$\geq 99\%$	Mensual	Control

Nota. Elaboración propia. Umbrales: SPI o CPI < 0.90 → alerta roja automática y plan en 48h.

4.2.7. Control documental y trazabilidad

Esta guía servirá para eliminar reprocesos por versiones/formatos inconsistentes. Asegurar nomenclatura estándar, versionado controlado, repositorio único/DMS y checklist de calidad con evidencia trazable al %EV.

Tabla 38
Reglas operativas (resumen)

Nº	Acción	Qué implica	Resultado esperado
1	Usar la nomenclatura vigente	Mantener tu patrón real de códigos y revisiones (Rev.0/1/2...; Rev. A/B/C/...). Validación automática de nombre/versión.	Cero cargas con nombre inválido.
2	DMS como fuente de verdad	Repositorio único con metadatos obligatorios y control de permisos.	Un solo lugar y trazabilidad completa.
3	Flujo de revisión con SLA	Registrar Envío y Respuesta por revisión; calcular Días sin respuesta; alertas por SLA.	Respuestas oportunas y medibles.
4	Transmittal y Status	Todo envío con ID de Transmittal y estado (Enviado/Respondido/Cerrado).	Rastro claro entre envío y respuesta.
5	Checklist de calidad	Nomenclatura, plantilla, referencias, firmas, control de versiones antes de cambiar de estado.	Menos retrabajo/documentos devueltos.

6	Integración con EV	Cambio de revisión/estado en DMS → actualiza hito A/B/C/0-3 y %EV.	EV trazable a evidencia.
7	Auditoría semanal	Muestreo de versiones, trazabilidad y SLA; reporte y acciones.	Mejora continua y cumplimiento.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 39
Metadatos y nomenclatura

Campo obligatorio	Ejemplo	Nota
Código documental	TM-EL-DIAG-001	Proyecto–Disciplina–Tipo–Nº (ajusta a tu patrón real).
Revisión/Estado	Rev. B / C	Usa tus estados reales (A/B/C... y/o 0/1/2...).
Fechas	Envío / Respuesta	Para SLA y “días sin respuesta”.
Transmittal	TM4-M3-SPCC-TRM-0115-2025	Enlace al envío.
Responsable	Nombre/área	Quien responde o aprueba.
Enlace DMS	URL/folio	Evidencia para %EV.

Nota. Elaboración propia.

Figura 13
Tabla de control de revisiones

Código	Nombre de Entregable	HR PPTO	HR FORECAST	Resp	Fecha	Rev	Días sin Respuesta	Transmittal	Responsable	Enlace DMS	Status	Resumen
Arquitectura (AR)												
P22-DA-2631-08-AR-001	E31-ER-001 Sala Eléctrica Principal 220KV - Plantas	25.0		MS	2-Sep-25	Rev. B	17	TM4-M3-SPCC-TRM-0115-2025			Observado emitir en siguiente revisión	REV B/C
P22-DA-2631-08-AR-002	E31-ER-001 Sala Eléctrica Principal 220KV - Elevaciones	25.0		MS	2-Sep-25	Rev. B	17	TM4-M3-SPCC-TRM-0115-2025			Observado emitir en siguiente revisión	REV B/C
P22-DA-2631-08-AR-003	E31-ER-001 Sala Eléctrica Principal 220KV - Secciones	25.0		MS	2-Sep-25	Rev. B	17	TM4-M3-SPCC-TRM-0115-2025			Observado emitir en siguiente revisión	REV B/C
P22-DA-2631-08-AR-004	E31-CR-001 Cuarto de Control 1 - Plantas	25.0		MS	2-Sep-25	Rev. B	17	TM4-M3-SPCC-TRM-0115-2025			Observado emitir en siguiente revisión	REV B/C
P22-DA-2631-08-AR-005	E31-CR-001 Cuarto de Control 1 - Elevaciones	25.0		MS	2-Sep-25	Rev. B	17	TM4-M3-SPCC-TRM-0115-2025			Observado emitir en siguiente revisión	REV B/C
P22-DA-2631-08-AR-006	E31-CR-001 Cuarto de Control 1 - Secciones	25.0		MS	2-Sep-25	Rev. B	17	TM4-M3-SPCC-TRM-0200-2025			Observado emitir en siguiente revisión	REV B/C
P22-DA-2631-08-AR-007	E31-ER-002 Sala Eléctrica 69KV - Plantas	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-008	E31-ER-002 Sala Eléctrica 69KV - Elevaciones y Secciones	25.0		-	8-Sep-25	Rev. B	13	TM4-M3-SPCC-TRM-0226-2025			SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-009	E31-CR-002 Cuarto de Control 2 - Plantas	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-010	E31-CR-002 Cuarto de Control 2 - Elevaciones	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-011	E31-CR-002 Cuarto de Control 2 - Secciones	25.0		-	8-Sep-25	Rev. B	13	TM4-M3-SPCC-TRM-0226-2025			SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-012	E31-ER-003 y E31-CR-003 Sala Eléctrica y Cuarto de Control	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-013	E31-ER-003 y E31-CR-003 Sala Eléctrica y Cuarto de Control	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-014	E31-ER-003 y E31-CR-003 Sala Eléctrica y Cuarto de Control	25.0		-	8-Sep-25	Rev. B	13	TM4-M3-SPCC-TRM-0226-2025			SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-015	Acceso y Estacionamientos - Plantas	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-016	Oficinas - Taller-Almacén - Plantas	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-017	Oficinas - Taller-Almacén - Elevaciones	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-018	Oficinas - Taller-Almacén - Secciones	25.0		-							SIN INICIAR	
P22-DA-2631-08-AR-019	SSIM - Instalaciones Sanitarias	25.0		-		Rev. A					Inviz REV A	

Nota. Elaboración propia

Los responsables serán los Líderes, Control Documentario y PM.

Tabla 40
Matriz RACI responsables

Actividad	Manten er DMS y validaci ones	Verificación de nomenclatura/m etadatos	Gestión de transmi ttals y estados	Carga/actuali zación de documentos	Auditorí a semanal (versione s, SLA, trazabili dad)	Repo rte al comit é T+1
Control Documen tario	R	R	R	C	R	R

Líderes de disciplina	C	C	C	R	C	C
PM	I	I	I	I	I	I

Nota. Elaboración propia. Leyenda: R = Responsable / ejecuta; C = Consultado / aporta insumos; I = Informado.

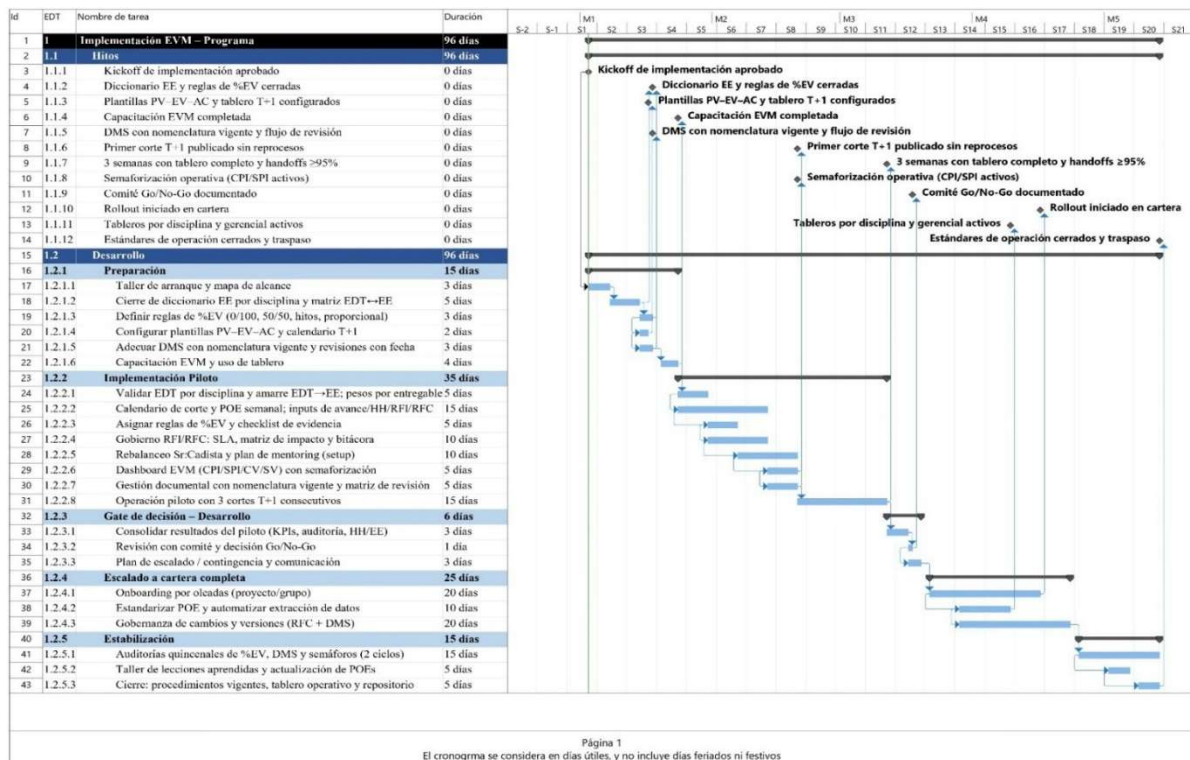
Los KPI/Meta están alineados a la revisión de la documentación:

Tabla 41
Cuadro KPI/Meta

KPI	Definición / Fórmula	Meta	Frecuencia	Responsable
Versionado correcto	Docs con versión/estado estándar ÷ total docs × 100	1	Semanal	Control Documentario
Trazabilidad %EV-DMS	Ítems con %EV enlazado a evidencia válida ÷ total ítems con %EV × 100	≥ 98%	Mensual	Control Documentario
Respuestas dentro de SLA	Respuestas registradas ≤ SLA ÷ respuestas totales × 100	≥ 90%	Semanal	Control Documentario
Lead time de revisión	Mediana (Fecha respuesta – Fecha envío)	Tendencia ↓	Mensual	Control Documentario
Transmisiones con error	Nº de transmisiones sin vínculo o con código inválido	0	Semanal	Control Documentario

4.3. Plan de implementación

Figura 14
Cronograma de implementación



Nota. Elaboración propia



CAPÍTULO V

5. Evaluación de la Propuesta

5.1. Impacto en indicadores de desempeño (CPI y SPI)

Para evaluar el impacto que tendrá la implementación conjunta de la estandarización de EVM, aplicaremos un diseño comparativo del antes y después que va a incorporar una ventana de estabilización para que garanticemos la fiabilidad de las mediciones. Lo que vamos a calcular serán los indicadores CPI_pre y SPI_pre como promedio de las semanas 4 a 8 previas a la intervención, mientras que por otro lado los indicadores CPI_post y SPI_post se obtienen promediando las semanas de 2 a 3 semanas que permite la estabilización del sistema. Las variaciones se van a cuantificar mediante las diferencias de estos.

5.1.1. Costo (CPI)

Para medir el desempeño en costos a través del indicador CPI, se trabaja con los valores CPI_pre, CPI_post y su diferencia Δ CPI, tomando como base las ventanas de tiempo definidas anteriormente. El proceso comienza extrayendo los datos acumulados semanales de valor ganado (EV_acum) y costo real (AC_acum) desde el dashboard o la hoja de control PV-EV-AC, luego se calcula el CPI de cada semana dividiendo el valor ganado entre el costo real para observar cómo evoluciona, y finalmente se determinan los promedios antes y después del cambio junto con su variación, todo esto desglosado por cada proyecto y disciplina, acompañado de un gráfico que muestre claramente la comparación entre ambos períodos. En términos prácticos, cuando el CPI supera 1 significa que el proyecto está siendo eficiente con los recursos y gastando menos de lo que produce en valor, pero si cae por debajo de 1 indica un problema de sobreconsumo que requiere atención inmediata en temas de productividad o planificación, buscando como objetivo mantener un CPI de al menos 0.95 de manera sostenida, valorando más la estabilidad que los resultados excepcionales momentáneos.

Tabla 42
Diferencia CPI

Proyecto	CPI_pre	CPI_post	ΔCPI
Subestación	0.78	0.95	0.17
Cogeneración	0.75	0.95	0.20
Secador	1.17	1.00	-0.17

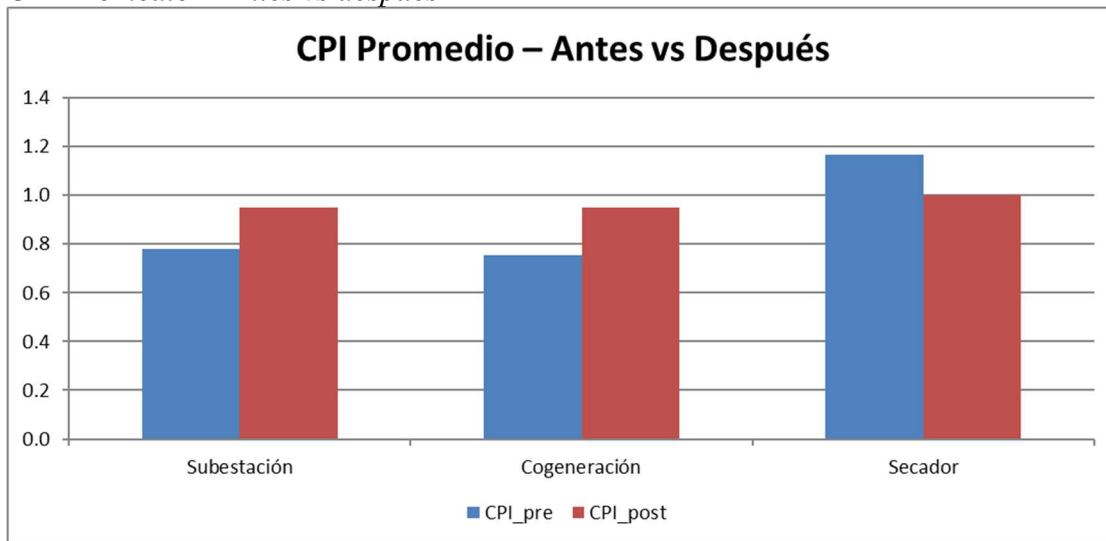
Nota. Elaboración propia

El análisis del indicador CPI muestra resultados diferenciados entre los tres proyectos. Subestación mejoró su CPI de 0.78 a 0.95 ($\Delta\text{CPI} = +0.17$), evidenciando una reducción significativa del sobreconsumo de horas gracias a la estandarización del método EVM y el tablero T+1. Cogeneración mostró una mejora similar, pasando de $\text{CPI} = 0.75$ a $\text{CPI} = 0.95$ ($\Delta\text{CPI} = +0.20$), siendo el proyecto con la brecha inicial más crítica y el mayor beneficio proporcional obtenido.

En el caso del proyecto Secador, el comportamiento es distinto, pero igualmente relevante: partía de un $\text{CPI}_{\text{pre}} = 1.17$, valor que indica que el proyecto estaba consumiendo menos horas de las presupuestadas para el avance generado, una situación que si bien parece positiva en el corto plazo puede reflejar un ritmo de ejecución insostenible o una planificación inicial con holguras excesivas. La propuesta no buscaba incrementar su eficiencia sino normalizar su desempeño hacia el rango objetivo sostenible de $\text{CPI} = 0.95\text{--}1.00$, obteniendo un $\text{CPI}_{\text{post}} = 1.00$ ($\Delta\text{CPI} = -0.17$). Este resultado confirma que la estandarización del EVM contribuyó a estabilizar el ritmo de ejecución del Secador dentro del rango meta, eliminando la holgura artificial y haciendo el control más predecible y trazable.

Figura 15

CPI Promedio – Antes vs después



Nota. Elaboración propia

5.1.2. Cronograma (SPI)

En cuanto al indicador de avance en cronograma o SPI, existen dos formas de trabajarlo: la más común es el SPI clásico que se obtiene dividiendo el valor ganado entre el valor planificado y sirve perfectamente para el monitoreo regular y la identificación de alertas mediante semáforos, aunque también está disponible el método Earned Schedule (ES) que convierte el avance en semanas concretas de adelanto o retraso cuando se necesita una precisión más detallada del tiempo. Si se opta por el SPI tradicional sin usar ES, hay que calcular el SPI acumulado cada semana, luego contrastar los promedios de antes y después de la intervención apuntando a mantener un SPI mínimo de 0.95, y para estimar el impacto real en tiempo se puede usar una fórmula sencilla que divide la duración planificada del proyecto entre el SPI obtenido, lo que permite calcular cuántas semanas se han recuperado o perdido al comparar los resultados previos y posteriores a la implementación del nuevo sistema.

Tabla 43
Diferencia SPI

Proyecto	SPI_pre	SPI_post	ΔSPI
Subestación	1.02	1.00	-0.02
Cogeneración	0.91	0.95	0.04
Secador	1.00	0.95	-0.05

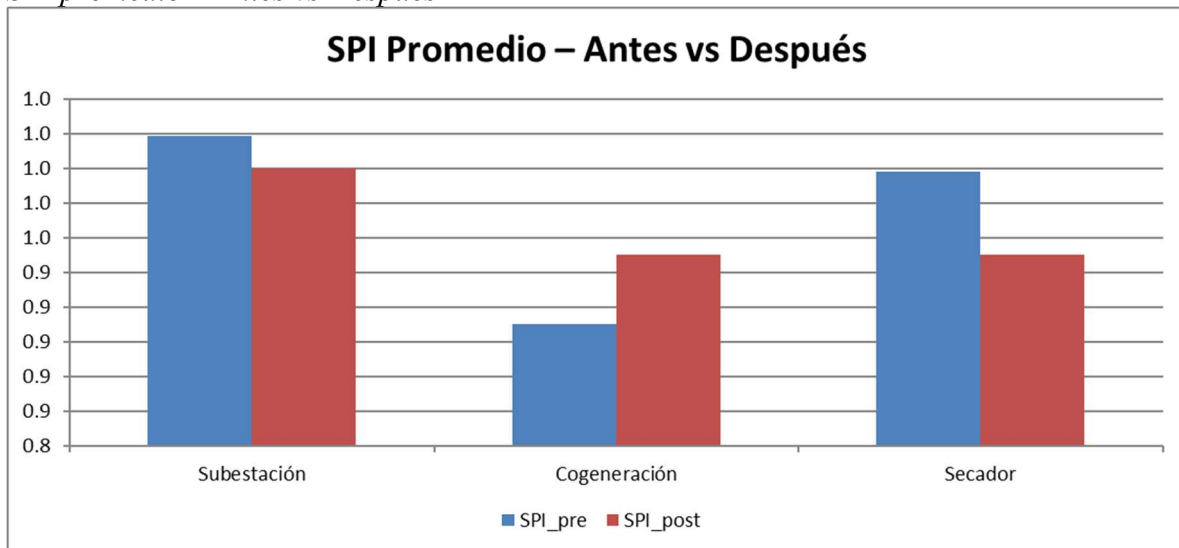
Nota. Elaboración propia

El análisis del indicador SPI muestra comportamientos diferenciados entre los tres proyectos. Subestación registró un SPI_pre = 1.02 que se estabilizó a SPI_post = 1.00 (Δ SPI = -0.02), lo que indica que partía de un leve adelanto en cronograma que la propuesta condujo al rango meta sostenible de 1.00; este ajuste es positivo porque un SPI superior a 1.00 de forma prolongada puede reflejar un ritmo de ejecución por encima del ritmo planificado que resulta difícil de mantener y puede comprometer la calidad. Cogeneración presentó la mejora más relevante en cronograma, pasando de SPI_pre = 0.91 a SPI_post = 0.95 (Δ SPI = +0.04), alcanzando el umbral mínimo objetivo; este avance se atribuye a la implementación del tablero T+1 y al desbloqueo de handoffs entre disciplinas identificados como causa raíz del rezago.

En el caso del proyecto Secador, el SPI_pre era de 1.00 —indicando que el cronograma se ejecutaba exactamente al ritmo planificado— y registró un SPI_post = 0.95 (Δ SPI = -0.05). Este descenso no representa un deterioro asociado a la implementación del sistema EVM, sino que responde a la fase avanzada de ejecución en que se encontraba el proyecto durante la ventana post-intervención: al acercarse al cierre, la curva S tiende a estabilizarse ligeramente por debajo de 1.00 porque las horas planificadas restantes son pocas y cualquier desfase puntual tiene mayor peso proporcional en el indicador. El valor de 0.95 se mantiene dentro del umbral de control establecido como meta, por lo que no se requieren acciones correctivas en cronograma para este proyecto.

Figura 16

SPI promedio – Antes vs Después



Nota. Elaboración propia

5.2. Estimación del ahorro en horas-hombre

El ahorro en horas-hombre se estimó aplicando el método EVM puro, que compara el desempeño actual de los proyectos con el desempeño esperado tras la implementación de la mejora.

El cálculo parte del presupuesto total a la terminación (BAC) y se basa en la diferencia entre las horas proyectadas con el CPI actual y las horas necesarias al alcanzar la meta de eficiencia (CPI_meta = 0.95).

De esta forma:

$$EAC_{base} = BAC / CPI_{actual}$$

$$EAC_{mejora} = BAC / CPI_{meta}$$

$$\Delta HH = EAC_{base} - EAC_{mejora}$$

El EAC_base representa las horas que se habrían requerido si se mantenía el nivel de desempeño actual, mientras que el EAC_mejora refleja las horas necesarias al alcanzar la meta de eficiencia propuesta. La diferencia entre ambos valores (ΔHH) representa el ahorro potencial en horas-hombre atribuible a la implementación del sistema EVM estandarizado.

Tabla 44
Ahorro HH

Proyecto	EAC_base (h)	EAC_mejora (h)	ΔHH (h)	ΔHH / BAC
Subestación	26,365	21,370	4,996	24.61%
Cogeneración	29,822	25,741	4,081	16.69%
Secador	964	964	0	0.00%
Σ	57,151	48,074	9,076	19.85%

Nota. Elaboración propia

El análisis muestra que la mejora permitió reducir en promedio un 19.85% del consumo de horas-hombre total, equivalente a 9,076 horas. Los mayores beneficios se concentraron en Subestación (4,996 h) y Cogeneración (4,081 h), donde los valores de CPI se elevaron hasta 0.95 tras la estandarización del método. En el caso de Secador, al haber mantenido un CPI igual a 1.00 desde el inicio, no se proyectaron mejoras adicionales. Estos resultados confirman que la eficiencia obtenida mediante la estandarización del EVM y la disciplina del tablero T+1 se tradujo directamente en una optimización medible de las horas-hombre empleadas en los proyectos.

5.3. Costo proyectado

La estimación del costo de implementación de la propuesta considera los recursos requeridos para desarrollar, capacitar, automatizar y poner en marcha el sistema EVM estandarizado dentro de la empresa. Los costos se calcularon en función de las horas dedicadas (HH) a cada actividad, multiplicadas por una tarifa promedio de S/ 35.00 por hora.

El total se agrupa en cinco componentes principales:

1. Diseño y afinamiento del estándar EVM.
2. Capacitación del personal.
3. Parametrización del tablero T+1.
4. Puesta en marcha, reuniones y mentoring.
5. Sobrecarga temporal de analistas y validadores durante el piloto.

Tabla 45*Diseño/afinamiento estándar EV (horas)*

Concepto	HH	Tarifa (S/·h)	Costo (S/)
Diccionario de EE por disciplina	10	35.00	350.00
Matriz EDT↔EE	10	35.00	350.00
Reglas de %EV por disciplina	5	35.00	175.00
Plantillas PV–EV–AC + calendario de corte	5	35.00	175.00
POE inicial (versión 1.0)	10	35.00	350.00
Subtotal	40		1,400.00

Nota. Elaboración propia**Tabla 46***Capacitación (horas × personas)*

Concepto	HH	Tarifa (S/·h)	Costo (S/)
Preparación de materiales (por sesión)	10	35.00	341.25
Dictado / facilitación	10	35.00	341.25
Participantes (tiempo de asistencia)	10	35.00	341.25
Evaluación y retroalimentación	10	35.00	341.25
Subtotal	39		1,365.00

Nota. Elaboración propia**Tabla 47***Parametrización/automatización del tablero T+1*

Concepto	H H	Tarifa (S/·h)	Costo (S/)
Conexión a fuentes (ETL)	5	35.00	175.00
Modelado de KPI + semáforos (CPI/SPI/HH/RFI/RFC/Handoffs)	4	35.00	140.00
Dash operativo y gerencial	10	35.00	341.25
Centro de alertas T+1	10	35.00	341.25
QA y pruebas integrales	4	35.00	140.00
Subtotal	33		1,137.50

Nota. Elaboración propia**Tabla 48***Puesta en marcha (POE, mentoring, reuniones extra)*

Concepto	HH	Tarifa (S/·h)	Costo (S/)
Ejecución de POE semanal	120	35.00	4,200.00

Mentoring y soporte en estabilización	74	35.00	2,590.00
Reuniones de control	120	35.00	4,200.00
Ajustes (plantillas/reglas)	80	35.00	2,791.25
Subtotal	394		13,781.25

Nota. Elaboración propia

Tabla 49
Sobrecarga temporal de analistas/validadores durante el piloto

Concepto	HH	Tarifa (S/·h)	Costo (S/)
Analistas (sobrecarga piloto)	229	35.00	8,020.25
Validadores (sobrecarga piloto)	220	35.00	7,700.00
Subtotal	449.15		15,720.25

Nota. Elaboración propia

El costo técnico total de las actividades detalladas asciende a S/ 33,460.00. Al incluir los gastos complementarios de coordinación/QA (8%) y una contingencia del 12%, se obtiene un costo total proyectado de S/ 40,405.48. La mayor inversión corresponde a la fase de puesta en marcha y mentoring (34%), seguida de la sobrecarga del equipo piloto (39%), evidenciando que el costo más relevante está asociado al acompañamiento y estabilización del nuevo sistema, no al desarrollo tecnológico en sí.

5.4. Relación beneficio-costos

Para determinar la rentabilidad de la propuesta, se comparó el beneficio económico derivado del ahorro de horas-hombre con el costo total de implementación. El beneficio se calculó multiplicando el ahorro total de horas-hombre (ΔHH) por la tarifa promedio de S/ 35.00 por hora, mientras que los costos se distribuyeron por proyecto de acuerdo con su peso en el BAC total.

Tabla 50*Costos por concepto*

Concepto	Base / Fuente	%	Costo (S/)
Subtotal técnico (1-5)	33,404.00		33,404.00
Coordinación / QA	Subtotal técnico	8.00%	2,672.32
Contingencia	Subtotal técnico + Coordinación	12.00%	4,329.16
Total costo proyectado			40,405.48

Nota. Elaboración propia**Tabla 51***Desglose para prorrateo (informativo)*

Componente	Cálculo	Costo (S/)
Pool común	EV + (T+1 × %común)	2,082.50
Pool específico	CAP + PMO + OVER + (T+1 × (1-%común))	31,321.50

Nota. Elaboración propia**Tabla 52***Prorrateo por proyecto*

Proyecto	BAC (h)	Peso w_i	Común prorrateado (S/)	Específico asignado (S/)	Total por proyecto (S/)
Subestación	15,632	42.65%	888.28	13,360.01	14,248.29
Cogeneración	20,052	54.72%	1,139.44	17,137.60	18,277.04
Secador	964	2.63%	54.78	823.89	878.67
Σ	36,648	100.00%	2,082.50	31,321.50	33,404.00

Nota. Elaboración propia

Es importante señalar que el proyecto Secador aparece en la Tabla 53 con un beneficio económico de S/ 0.00 y una relación B/C = 0.00, lo cual no implica que la implementación del sistema EVM haya sido inocua en este proyecto. Su inclusión en el análisis se justifica por tres razones. Primero, el Secador sí incurre en un costo de implementación prorrateado (S/ 878.67), dado que la estandarización del método EVM es un sistema transversal a todos los proyectos de la cartera y no puede implementarse de forma selectiva solo en los proyectos con CPI < 1. Segundo, el beneficio del Secador no es económico-cuantitativo sino de control y sostenibilidad: al partir de un CPI_{pre} = 1.17, la propuesta normalizó su desempeño a CPI =

1.00, eliminando holguras artificiales que podrían haberse convertido en sobrecostos en fases posteriores del proyecto. Tercero, la correcta medición y trazabilidad del Secador aporta información de referencia al sistema de control global, mejorando la capacidad predictiva del tablero T+1 para proyectos futuros de características similares. Por estas razones, el Secador se mantiene en el análisis para reflejar fielmente el alcance real de la propuesta, con la precisión de que su aporte al beneficio global es de naturaleza cualitativa y de control, no de ahorro directo en horas-hombre.

Tabla 53
Calculo Beneficios/Costo

Proyecto	EAC_base (h)	EAC_mejora (h)	ΔHH (h)	Ahorro (S/)	Costo (S/)	B/C
Subestación	20,301	16,455	3,847	134,629.67	14,248.29	9.45
Cogeneración	24,454	21,107	3,346	117,120.15	18,277.04	6.41
Secador	964	964	0	0.00	878.67	0.00

Nota. Elaboración propia

El análisis beneficio-costos evidencia que la propuesta es altamente rentable. Con un costo total de implementación de S/ 40,405.48 y un ahorro económico estimado de S/ 251,749.82 en los proyectos Subestación y Cogeneración, el B/C global es de 6.23; es decir, por cada sol invertido se recuperan más de seis en ahorro operativo. A nivel de proyectos con ahorro directo, Subestación presenta la mejor rentabilidad (B/C = 9.45) y Cogeneración (B/C = 6.41), ambos superando ampliamente el umbral mínimo de viabilidad (B/C > 1). El proyecto Secador no genera ahorro en horas-hombre —dado que su CPI_pre de 1.17 ya superaba el rango objetivo y la propuesta actuó normalizándolo a 1.00— pero absorbe un costo de implementación de S/ 878.67 correspondiente a su participación proporcional en el sistema EVM estandarizado. Su inclusión es metodológicamente correcta porque la implementación del sistema es transversal a toda la cartera de proyectos y los beneficios de control y trazabilidad que aporta tienen valor estratégico aunque no sean cuantificables directamente en el presente análisis.

En términos estratégicos, los resultados demuestran que la estandarización del método EVM y el tablero T+1 no solo mejoran la visibilidad del desempeño, sino que también reducen significativamente el consumo de horas-hombre y los costos de ejecución, validando la sostenibilidad técnica y económica de la propuesta.



CONCLUSIONES

- La investigación demostró que es posible mejorar la eficiencia del desempeño operativo en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management. El diagnóstico inicial reveló deficiencias críticas en los tres proyectos analizados —con índices de desempeño en costo (CPI) de 0.77 y 0.82 y un índice de desempeño en cronograma (SPI) de 0.86—, que evidenciaban un consumo de recursos desalineado respecto al avance físico real. La propuesta de mejora, articulada en torno a la estandarización del EVM, un tablero de control semanal y acciones correctivas sobre las causas raíz identificadas, permitió elevar los indicadores al nivel objetivo de 0.95 en costo y cronograma, reducir en 9,076 horas-hombre el esfuerzo consumido y obtener una relación beneficio-costos de 6.23. Estos resultados confirman que el método EVM constituye una herramienta eficaz y rentable para alinear el uso de recursos con el avance real del proyecto en contextos de ingeniería multidisciplinaria.
- El diagnóstico de los tres proyectos evidenció que la eficiencia operativa se encontraba por debajo de los niveles aceptables: el CPI promedio de los proyectos con sobrecosto fue de 0.77 (Subestación) y 0.82 (Cogeneración), mientras que el SPI de dos proyectos se situó en 0.86, confirmando retrasos simultáneos. La productividad media registrada fue de 66 HH/entregable, un 50% superior a las 44 HH/entregable presupuestadas. En conjunto, se habían consumido 5,122 HH para generar un valor ganado de solo 2,594 HH, con un avance real de 46.4% frente al 60.9% planificado.
- Se identificaron cinco causas raíz que explican las desviaciones: subestimación de la ruta crítica, composición inadecuada del equipo con baja participación de personal senior, multitarea y rotación constante de personal, demoras en la

atención de solicitudes de información (RFI), y cambios de alcance no incorporados a la línea base. Estas causas se asociaron a metas correctivas medibles: cumplimiento del 95% de hitos planificados, máximo 2 trabajos simultáneos por persona y atención oportuna del 90% de RFIs.

- La estandarización del método EVM, complementada con un tablero de control semanal T+1 y reuniones de coordinación estructuradas, permitió llevar los indicadores al nivel objetivo en los tres proyectos analizados. En costo, el CPI de Subestación mejoró de 0.78 a 0.95 (+0.17 puntos) y el de Cogeneración de 0.75 a 0.95 (+0.20 puntos), eliminando el sobreconsumo de horas-hombre. El proyecto Secador, que partía de un $CPI_{pre} = 1.17$ —valor por encima del rango meta que reflejaba holguras artificiales en la planificación—, fue normalizado a $CPI_{post} = 1.00$, estabilizando su desempeño dentro del rango objetivo sostenible. En cronograma, el SPI de Cogeneración aumentó de 0.91 a 0.95 (+0.04 puntos); Subestación se ajustó de 1.02 a 1.00, consolidando un ritmo de ejecución más sostenible; y el Secador presentó una variación de -0.05 puntos (de 1.00 a 0.95) atribuible a su fase avanzada de ejecución durante la ventana post-intervención, manteniéndose dentro del umbral de control.
- La propuesta generó un ahorro total estimado de 9,076 HH (-19.85% respecto al presupuesto), concentrado en Subestación ($-4,996$ HH) y Cogeneración ($-4,081$ HH). El proyecto Secador no genera ahorro directo en horas-hombre dado que su eficiencia en costo ya operaba por encima del rango objetivo desde el inicio; sin embargo, su inclusión en el análisis es metodológicamente correcta porque la implementación del sistema EVM es transversal a toda la cartera y el beneficio obtenido en este proyecto es de naturaleza cualitativa: normalización del desempeño, mayor trazabilidad y control predictivo. El beneficio económico

cuantificable asciende a S/ 251,749, frente a un costo de implementación de S/ 40,405.48, arrojando una relación beneficio-costos de 6.23, lo que confirma la rentabilidad y viabilidad de la propuesta.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la empresa adopte el método Earned Value Management como estándar corporativo de gestión del desempeño operativo en todos sus proyectos de ingeniería multidisciplinaria, replicando el modelo desarrollado en esta investigación. Para ello, es fundamental institucionalizar el procedimiento de actualización semanal de indicadores, capacitar a los equipos de proyecto en la metodología EVM y establecer metas mínimas sostenidas de CPI y SPI iguales o superiores a 0.95. Asimismo, se sugiere crear un repositorio centralizado de lecciones aprendidas que retroalimente la planificación de nuevos proyectos, de modo que las causas raíz identificadas —como la subestimación de la ruta crítica, la composición inadecuada de equipos y las demoras en la atención de solicitudes de información— sean prevenidas desde la etapa de formulación, consolidando así una cultura organizacional orientada a la eficiencia y la mejora continua.
- Se sugiere establecer como práctica permanente un procedimiento operativo estándar de gestión del valor ganado con actualización semanal al día siguiente, donde se revisen todos los indicadores clave como el valor planificado, valor ganado, costo real, los índices de desempeño en costo y cronograma, las horas por entregable, el estado de las solicitudes de información y cambios, así como las transiciones entre fases del proyecto, manteniendo objetivos claros de lograr al menos 0.95 en ambos índices de desempeño, implementando un sistema visual de alertas tipo semáforo y asegurando que se publiquen reportes todas las semanas sin excepción, complementado con revisiones ejecutivas específicas para cada proyecto.
- Es fundamental poner en marcha el conjunto completo de acciones correctivas que atacan las causas raíz detectadas, lo cual incluye revisar a fondo el método

de ruta crítica y proteger las actividades críticas con colchones de tiempo, reequilibrar la proporción entre profesionales seniors y dibujantes técnicos estableciendo programas de mentoría por especialidad, implementar una política estricta que limite a máximo dos trabajos simultáneos por persona, definir tiempos de respuesta obligatorios de entre tres y cinco días para las solicitudes de información con un tablero de seguimiento visible, crear un comité que revise quincenalmente los cambios de alcance y actualice la línea base del proyecto cuando corresponda, y estandarizar el control de documentos mediante un sistema de gestión documental adecuado.

- Se recomienda conservar el modelo de evaluación que compara los períodos antes y después de la intervención incorporando la ventana de estabilización, manteniendo como objetivos sostenidos alcanzar índices de desempeño de al menos 0.95 tanto en costo como en cronograma después de la implementación, y en caso de necesitar mayor exactitud en la medición del tiempo, incorporar adicionalmente el método de cronograma ganado que permite expresar los retrasos o adelantos en términos de semanas concretas recuperadas o perdidas.
- Se recomienda aprobar la inversión necesaria de 40,405.48 soles y concentrar los esfuerzos de implementación prioritariamente en los proyectos de Subestación y Cogeneración dado que ofrecen ratios beneficio-costo sumamente favorables de 9.45 y 6.41 respectivamente, mientras que para el proyecto de Secador se sugiere mantener únicamente los controles estándar actuales sin invertir recursos adicionales de mejora hasta que su indicador de desempeño en costos descienda por debajo del nivel objetivo establecido.

REFERENCIAS

- Ahmad, J., Boity, A. K., Chauhan, H. K., & Arora, K. (2022). Evaluation of architectural design features in achieving sustainability in hospital projects. *ECS Transactions*. <https://doi.org/10.1149/10701.9453ecst>
- Atout, M. M. (2019, January 1). Monitoring and control process of construction projects. <https://doi.org/10.3311/CCC2019-080>
- Ballesteros-Pérez, P., Cerezo-Narváez, A., Otero-Mateo, M., Pastor-Fernández, A., & Vanhoucke, M. (2019). Performance comparison of activity sensitivity metrics in schedule risk analysis. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102906>
- Bonato, F. K., Albuquerque, A. A. de, & Paixão, M. A. S. da. (2019). An application of earned value management (EVM) with Monte Carlo simulation in engineering project management. <https://doi.org/10.1590/0104-530X4641-19>
- Das, S. (2022). Cost-benefit analysis. <https://doi.org/10.4324/9781315768090-67>
- Dongrey, S. (2022). Study of market indicators used for technical analysis. *International Journal of Engineering and Management Research*. <https://doi.org/10.31033/ijemr.12.2.11>
- El Touny, A. S., Ibrahim, A. H., & Mohamed, H. H. (2021). Construction projects' classified performance indicators (CPIs). <https://doi.org/10.21608/ERJ.2021.194170>
- Engwall, L. (2018). Structural conditions for interdisciplinarity. *European Review*. <https://doi.org/10.1017/S106279871800025X>
- Gupta, N., & Mahapatra, R. P. (2021). An effective agile development process by a hybrid intelligent effort estimation protocol. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03088-x>
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2020). Metodología de la investigación. México D.F.: McGraw Hill

- Homyak, K., Kazmirchuk, R. V., Shmatov, E., Larionov, V., & Pohrebnyak, T. (2022). Improving the efficiency of performance of tasks during elimination of consequences of destruction (accidents) of potentially dangerous objects. *Zbirnik Naukovih Prac' Vjs'kovoї Akademii*. <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2021.16.237-244>
- Jacobs, J. (2017). Multidisciplinary systems engineering. *ACM Crossroads Student Magazine*. <https://doi.org/10.1145/3155214>
- Jahanger, Q. K., Louis, J., & Trejo, D. (2022). Implementation framework to facilitate digitalization of construction-phase information management by project owners. *Journal of Information Technology in Construction*. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.026>
- Jiménez Salcedo, L. C. (2021). Aplicación de la Gestión del Valor Ganado “Earned Value Management EVM”, como Herramienta para Garantizar el Seguimiento y Control en Proyectos de Consultoría [Tesis de maestría, Universidad de Boyacá]. Tunja, Colombia. <https://repositorio.uniboyaca.edu.co/handle/uniboyaca/947>
- Jiménez, V., Afonso, P., & Fernandes, G. (2020). Using agile project management in the design and implementation of activity-based costing systems. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su122410352>
- Khalafy, J., Sharif Zein, S. H., Hasan, A., Ahmed, U. F., & Abdul Jalil, A. N. (2023). Process design optimisation, heat integration, and techno-economic analysis of oil refinery: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2023.2205365>
- Kikuchi, S. (2017). Man-hour estimation method and man-hour estimation apparatus.
- Kovalenko, O., & Stanislavyk, O. (2020). Technological aspects of evaluation of enterprise efficiency. <https://doi.org/10.37634/EFP.2020.10.5>

- Kravchyk, Y., & Ostapchuk, O. (2023). Methods and indicators of assessing management performance in the organization. *Ukrains'kij Žurnal Prikladnoi Ekonomiki*.
<https://doi.org/10.36887/2415-8453-2023-1-20>
- Locurcio, M., Morano, P., Tajani, F., Di Liddo, F., & Bortone, I. (2022). The cost-benefit analysis for the validation of next generation EU investments: An application to the healthcare sector. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10548-7_3
- Malpica Cabrera, M. J., Gil Lozano, P. J., & Urcia Cruz, M. (2023). El impacto de la gestión del valor ganado en un proyecto de construcción social. *Revista Científica Yachaq*, 6(1), 71–84. Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI.
<https://doi.org/10.46363/yachaq.v6i1.5>
- Morosan-Danila, L. (2018, December 11). Performing cost-benefit analysis for funding projects. <https://doi.org/10.18662/LUMPROC.89>
- Muralidhar, P. (2018). Analysis on improving operational efficiency of construction project site. *Independent Journal of Management & Production*.
<https://doi.org/10.14807/IJMP.V9I3.686>
- Ngo, K. A., Lucko, G., & Ballesteros-Pérez, P. (2022). Continuous earned value management with singularity functions for comprehensive project performance tracking and forecasting. *Automation in Construction*. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104583>
- Oktrianto, D., & Susetyo, B. (2020). Productivity analysis for performance measurement by (earned value management) EVM in high-level building projects.
<https://doi.org/10.31695/IJERAT.2020.3624>
- Paipay Casas, J. E. (2024). Diseño de Metodología del Valor Ganado para Optimizar el Desempeño de la Instalación de Puentes Modulares [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Lima, Perú.
<https://cybertesis.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/28138>

- Peña Riveros, A. R. (2022). Propuesta de mejora en el control de proyectos basado en la metodología de valor ganado en la ejecución de proyectos multidisciplinarios en empresas de construcción [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Arequipa, Perú. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/ea247320-239a-4192-ab6c-2c2418256922>
- Proaño-Narvárez, M., Flores-Vázquez, C., Vásquez Quiroz, P., & Avila-Calle, M. (2022). Earned value method (EVM) for construction projects: Current application and future projections. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings12030301>
- Qi, K., Owusu, E. K., Siu, M.-F. F., & Chan, P.-C. A. (2024). A systematic review of construction labor productivity studies: Clustering and analysis through hierarchical latent dirichlet allocation. *Ain Shams Engineering Journal*, 15, 102896. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102896>
- Shi, Y., Li, B., Long, W., & Dai, W. (2021). Method for improving the performance of technical analysis indicators by neural network models. *Computational Economics*. <https://doi.org/10.1007/s10614-021-10116-7>
- Sonnenberg-Klein, J., Rosales-Salas, J., Aristizábal-Pinzón, A. A., Muriel, A. O., Ruiz, P., Azevedo, A. T., Inácio, E., & Morini, C. (2022, March 13). Vertically integrated project programs in South America – Profiles of multidisciplinary team-based project-based programs at 4 institutions. <https://doi.org/10.1109/EDUNINE53672.2022.9782334>
- Stasinou, C., Panas, A., Pantouvakis, J.-P., Ralli, P., & Karagiannakidis, D. (2020). Investigation of the earned value method (EVM) applicability for construction operations affected by the learning phenomenon. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1910-9_20
- Stylianou, C., & Andreou, A. S. (2016). Investigating the impact of developer productivity, task interdependence type and communication overhead in a multi-objective optimization approach for software project planning. *Advances in Engineering Software*. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.04.001>

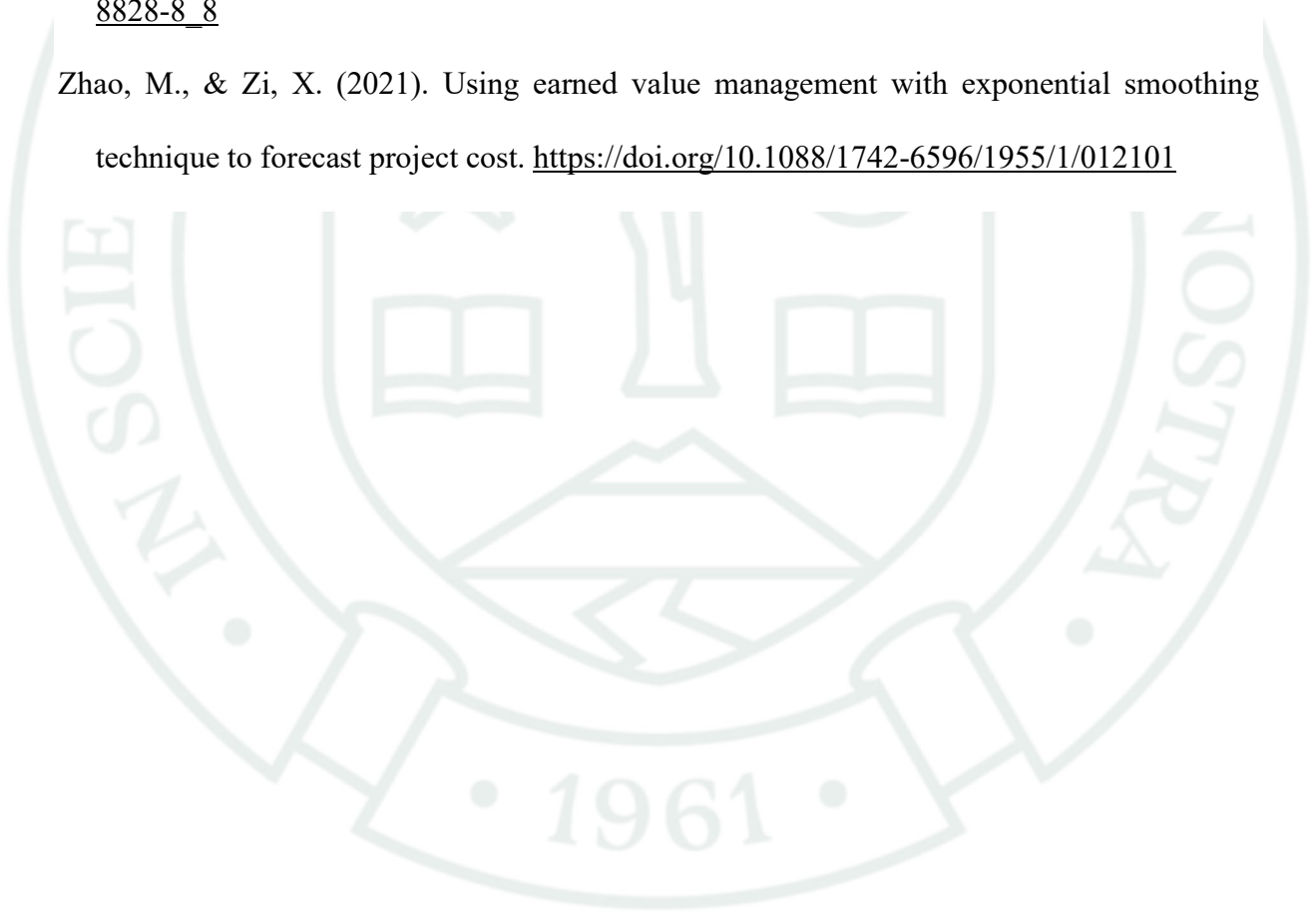
Suginishi, Y., & Chida, T. (2019). Work man-hour estimating device and work instructing system.

Szejniuk, A. (2019). The work efficiency management (as a) – determinant of the development of modern organizations. *Journal of Modern Science*. <https://doi.org/10.13166/JMS/106020>

Valencia Rivera, H. A. (2024). Evaluación del rendimiento, tiempo y costo en la construcción de carreteras con el método del valor ganado del PMI, 2024 - Arequipa [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Arequipa, Perú. <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/4bbf38f2-b2b7-49d5-ac64-910129aa14aa>

Yang, G. (2023). Interdisciplinary engineering problems. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8828-8_8

Zhao, M., & Zi, X. (2021). Using earned value management with exponential smoothing technique to forecast project cost. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1955/1/012101>



ANEXOS

Anexo 1: Validación del Diccionario de Entregables Equivalentes

VALIDEZ DE DATOS

Nombre de la Investigación: Propuesta de mejora en la eficiencia del desempeño operativo en proyectos de ingeniería multidisciplinaria mediante la aplicación del método Earned Value Management

Responsables: Pantigozo Garnica, Ronald

Nombre del instrumento: Diccionario de Entregables Equivalentes

Descripción del instrumento:

El Diccionario de Entregables Equivalentes constituye una herramienta técnica que permite estandarizar la medición del valor ganado en proyectos de ingeniería multidisciplinaria. Este instrumento asigna pesos relativos a los diferentes tipos de entregables por disciplina, con el objetivo de homogenizar criterios de evaluación del avance, mejorar la trazabilidad entre actividades y facilitar el cálculo consistente de indicadores de desempeño como el CPI y el SPI.

Asimismo, el instrumento busca reducir la subjetividad en la asignación de porcentajes de avance, permitiendo una comparación válida entre proyectos y disciplinas, y asegurando una medición objetiva del progreso físico del proyecto.

NOTA: Para cada criterio considere la escala de 1 a 5 donde:

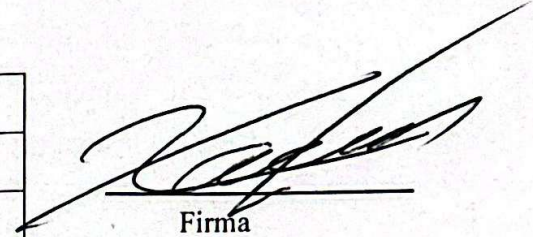
1. Muy poco	2. Poco	3. Regular	4. Aceptable	5. Muy aceptable
-------------	---------	------------	--------------	------------------

Criterio de Validez	Puntuación					Argumento	Observaciones y/o sugerencias
	1	2	3	4	5		
Validez de Contenido					X		
Coherencia técnica de los pesos asignados					X		
Aplicabilidad en proyectos multidisciplinarios					X		
Claridad y estructura del instrumento					X		
Trazabilidad entre entregables y %EV					X		
Total Parcial					25		
TOTAL:					25		

Puntuación:

De 4 a 9: No válida, reformular	
De 10 a 14: No válido, modificar	
De 15 a 19: Válido, mejorar	
De 20 a 25: Válido, aplicar	X

Apellidos y Nombres	Ferrada, Xavier
Grado Académico	Maestría
Mención/ Cargo	Gerente



Firma

Anexos

- **Validez de contenido:** Se refiere a la capacidad del diccionario para representar adecuadamente los distintos tipos de entregables utilizados en proyectos de ingeniería multidisciplinaria, asegurando que los pesos asignados reflejen el esfuerzo relativo y la importancia de cada uno dentro del proyecto.
- **Coherencia técnica de los pesos asignados:** Evalúa si los valores asignados a cada entregable son consistentes con la experiencia técnica y la complejidad real de las actividades, evitando sesgos o desproporciones en la medición del avance.
- **Aplicabilidad en proyectos multidisciplinarios:** Determina si el instrumento puede ser utilizado de manera efectiva en diferentes tipos de proyectos y disciplinas, garantizando su flexibilidad y adaptabilidad en distintos contextos operativos.
- **Claridad y estructura del instrumento:** Hace referencia a que el diccionario esté organizado de forma comprensible, con una clasificación adecuada de entregables y una presentación clara que facilite su uso por parte de los equipos de trabajo.
- **Trazabilidad entre entregables y %EV:** Evalúa si el instrumento permite relacionar de manera directa los entregables con el porcentaje de avance (EV), asegurando que cada medición esté respaldada por evidencias verificables.