



**Universidad
Europea**

ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MASTER

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN ORGANIZATIVA EN DOP
ENGINEERING: DEPARTAMENTO MECHANICAL EQUIPMENT**

Alumno: D. FERNANDO ANTONIO MOYA MATTEY

Director: D^a. SUSANA NERIA AGUJETAS

SEPTIEMBRE 2026

TÍTULO: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN ORGANIZATIVA EN DOP
ENGINEERING: DEPARTAMENTO MECHANICAL EQUIPMENT

AUTOR: FERNANDO ANTONIO MOYA MATTEY

DIRECTOR DEL PROYECTO: SUSANA NERIA AGUJETAS

FECHA: 18 de septiembre de 2026

RESUMEN.

El presente Trabajo de Fin de Máster aborda un problema operativo real del departamento Mechanical Equipment de DOP Engineering, una empresa de ingeniería estructural que opera bajo el modelo de ingeniería delegada. En este departamento, reducido y sujeto a una elevada variabilidad en la carga de trabajo, la función de revisión y validación técnica se concentra en el ingeniero Líder, lo que convierte esa etapa en el cuello de botella del proceso y hace al equipo frágil ante los incrementos de demanda y dependiente de una única persona clave.

El diagnóstico se desarrolla siguiendo las fases Define, Measure y Analyze del ciclo DMAIC, apoyado en herramientas Lean como el Value Stream Map, en la Teoría de las Restricciones y en una matriz de competencias del equipo. A partir de este análisis se diseña una propuesta de optimización articulada en tres líneas complementarias: el desarrollo técnico progresivo del ingeniero junior, la estandarización de los procesos mediante un procedimiento operativo estándar y una lista de verificación de autorevisión, y la definición de criterios formales de priorización de las revisiones.

La propuesta se valida mediante un piloto de cuatro semanas sobre proyectos reales del departamento, con un sistema de cinco indicadores de seguimiento. Los resultados muestran una reducción cercana al cincuenta por ciento en la duración de las revisiones y en el tiempo de espera hasta la revisión, así como la práctica eliminación de los errores de formato, mientras que los indicadores de carácter técnico mejoran de forma parcial, coherente con su horizonte de maduración más largo. El trabajo concluye que la fragilidad del departamento no obedece a una escasez de recursos, sino a la concentración del conocimiento y a la falta de estructura del proceso, y que puede resolverse con los medios internos existentes, aportando un modelo de gestión replicable en el contexto de la ingeniería delegada.

Palabras clave: optimización organizativa, gestión de la capacidad operativa, dependencia de personas clave, estandarización de procesos, DMAIC.

ABSTRACT.

This Master's Thesis addresses a real-world operational problem in the Mechanical Equipment department at DOP Engineering, a structural engineering firm that operates under a delegated engineering model. In this small department, which is subject to high variability in workload, the role of technical review and validation is concentrated in the senior engineer, making this stage the bottleneck of the process and leaving the team vulnerable to increases in demand and dependent on a single key person.

The analysis is conducted following the Define, Measure, and Analyze phases of the DMAIC cycle, supported by Lean tools such as the Value Stream Map, the Theory of Constraints, and a team competency matrix. Based on this analysis, an optimization proposal is designed around three complementary lines of action: the progressive technical development of the junior engineer; the standardization of processes through a standard operating procedure and a self-review checklist; and the definition of formal criteria for prioritizing reviews.

The proposal is validated through a four-week pilot using real projects from the department, with a system of five monitoring indicators. The results show a reduction of nearly fifty percent in the duration of reviews and in the wait time until a review, as well as the virtual elimination of formatting errors, while technical indicators show partial improvement, consistent with their longer maturation horizon. The study concludes that the department's fragility is not due to a shortage of resources, but rather to the concentration of knowledge and the lack of process structure, and that it can be resolved using existing internal resources, providing a replicable management model in the context of outsourced engineering.

Keywords: organizational optimization, operational capacity management, dependence on key personnel,

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	: INTRODUCCIÓN	9
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.2	OBJETIVOS DEL PROYECTO:	10
1.2.1	<i>Objetivo General:</i>	11
1.2.2	<i>Objetivos específicos:</i>	11
1.3	JUSTIFICACIÓN	11
1.4	ALCANCE Y LIMITACIONES	12
1.5	ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	13
CAPÍTULO 2	: CONTEXTO ORGANIZACIONAL DE DOP ENGINEERING	15
2.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	15
2.2	MISIÓN, VISIÓN Y VALORES CORPORATIVOS	16
2.3	MODELO DE NEGOCIO Y CADENA DE VALOR	17
2.4	ESTRUCTURA ORGANIZATIVA	18
2.5	EL DEPARTAMENTO MECHANICAL EQUIPMENT	19
CAPÍTULO 3	: MARCO TEÓRICO	20
3.1	EL MODELO DE INGENIERÍA DELEGADA	20
3.2	LA METODOLOGÍA DMAIC COMO MARCO DE MEJORA CONTINUA	21
3.3	EL VALUE STREAM MAP COMO HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO DE FLUJOS.....	22
3.4	GESTIÓN DE LA CAPACIDAD OPERATIVA EN EQUIPOS TÉCNICOS REDUCIDOS	25
3.5	LA TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES Y LA IDENTIFICACIÓN DE CUELLOS DE BOTELLA	25
3.6	ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS EN ENTORNOS TÉCNICOS	26
3.7	MATRICES DE COMPETENCIAS TÉCNICAS	28
3.8	DESARROLLO DE CAPACIDAD INTERNA Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO.....	29
3.9	CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN OPERATIVA EN SISTEMAS CON RECURSOS LIMITADOS...	29
3.10	INDICADORES CLAVE DE RENDIMIENTO Y SISTEMAS DE CONTROL	30
3.11	SÍNTESIS DEL MARCO TEÓRICO	31
CAPÍTULO 4	: DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	31
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO OPERATIVO ACTUAL.....	31
4.2	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA DISPONIBLE	34
4.3	CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE PROYECTO	34
4.4	MATRIZ DE COMPETENCIAS TÉCNICAS DEL DEPARTAMENTO	36
4.5	ANÁLISIS DE CUELLOS DE BOTELLA Y CAUSAS RAÍZ	37
4.6	SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO.....	39
CAPÍTULO 5	: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN	40
5.1	PLAN DE DESARROLLO TÉCNICO DEL JUNIOR	40
5.2	SISTEMA DE ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS.....	41
5.2.1	<i>Procedimiento operativo estándar: HVAC Duct Stands</i>	42
5.2.2	<i>Lista de verificación de autorevisión</i>	43
5.2.3	<i>Criterios de clasificación: proyecto estándar vs. complejo</i>	44
5.3	CRITERIOS FORMALES DE PRIORIZACIÓN OPERATIVA.....	45
5.3.1	<i>Niveles de prioridad</i>	45
5.3.2	<i>Reglas de decisión dentro del mismo nivel</i>	46
5.4	INTEGRACIÓN DE LAS TRES LÍNEAS DE ACTUACIÓN	47
CAPÍTULO 6	PLAN DE IMPLANTACIÓN Y SISTEMA DE SEGUIMIENTO.....	49

6.1	DISEÑO DEL PILOTO	49
6.1.1	<i>Alcance, duración y lógica del piloto</i>	49
6.1.2	<i>Fases de implementación</i>	49
6.1.3	<i>Roles y responsabilidades en el piloto</i>	51
6.1.4	<i>Riesgos del piloto y planes de contingencia</i>	52
6.2	SISTEMA DE INDICADORES DE SEGUIMIENTO.....	53
6.2.1	<i>Indicadores de calidad de los entregables</i>	54
6.2.2	<i>Indicadores de carga operativa del Líder</i>	55
6.2.3	<i>Formulario de registro semanal</i>	56
6.2.4	<i>Revisión semanal de indicadores y umbrales de alerta</i>	57
CAPÍTULO 7 : RESULTADOS DEL PILOTO		59
7.1	EJECUCIÓN DEL PILOTO Y REGISTRO SEMANAL	59
7.2	RESULTADOS POR INDICADOR.....	61
7.2.1	<i>Indicadores de calidad de los entregables</i>	62
7.2.2	<i>Indicadores de carga operativa del líder</i>	63
7.3	TRATAMIENTO DE ANOMALÍAS E INCIDENCIAS	63
7.4	SÍNTESIS DE RESULTADOS	63
CAPÍTULO 8 : CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....		65
8.1	CONCLUSIONES.....	65
8.2	RECOMENDACIONES	66
8.3	LIMITACIONES DEL ESTUDIO	66
8.4	LÍNEAS FUTURAS	67
BIBLIOGRAFÍA.....		68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de estados donde opera DOP Engineering.....	15
Figura 2: Posición de DOP Engineering en la cadena de subcontratación	18
Figura 3: Organigrama de la empresa	19
Figura 4: Departamento de Mechanical Equipment en el organigrama.	20
Figura 5: Flujo de trabajo del modelo de ingeniería delegada.	21
Figura 6: Ciclo DMAIC y Herramientas a utilizar.....	22
Figura 7: Value Stream Map genérico depto. Mechanical equipment.....	24
Figura 8: Distribución del tiempo de espera por etapas de acuerdo al VSM.	26
Figura 9: Impacto de la estandarización en la carga de trabajo.....	28
Figura 10: Estructura general del plan de desarrollo a doce meses	29
Figura 11: Value Stream Map proyectos de tipo HVAC Duct Stands.....	33
Figura 12: Carga de trabajo por tipo de proyecto.....	36
Figura 13: Diagrama de Ishikawa de la concentración de la validación en el Líder.....	39
Figura 14: Plan de desarrollo de capacidad a doce meses.....	41
Figura 15: Línea de tiempo de la progresión esperada del junior	41
Figura 16: Lista de verificación de autorevisión	44
Figura 17: Diagrama de flujo de priorización de revisiones.	47
Figura 18: Integración de las 3 líneas de actuación	48
Figura 19: Cronograma del piloto de 4 semanas	51
Figura 20: Roles y responsabilidades durante el piloto.....	52
Figura 21: Matriz de riesgos del piloto.	53
Figura 22: Plantilla del formulario de registro semanal de KPIs	57
Figura 23: Ciclo de control semanal de indicadores	58
Figura 24: Evolución semanal de los KPI Respecto a la línea base.....	62
Figura 25: Grado de cumplimiento de KPIs por indicador	64



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación tiempos de trabajo proyectos estandarizados vs no estandarizados ...	27
Tabla 2: Ejemplo de tabla de control de KPI	31
Tabla 3: Horas de trabajo estimadas por tipo de proyecto	35
Tabla 4: Matriz de competencias técnicas del departamento.	37
Tabla 5: Criterios de priorización y acciones correctivas.	46
Tabla 6: Plan de mitigación de riesgos.....	53
Tabla 7: Panel de indicadores de seguimiento del piloto.	55
Tabla 8: Tabla de registro semanal de KPIs.....	56
Tabla 9: Umbrales de alerta por indicador y acción correctiva.....	58
Tabla 10: Registro semanal del piloto por KPI S0 a S4.....	61
Tabla 11: Resumen de resultados del piloto.....	61

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

DOP Engineering es una empresa dedicada a la prestación de servicios de ingeniería bajo el modelo de ingeniería delegada, en el cual actúa como soporte técnico externo para clientes del sector de la construcción, la ingeniería y la industria. En este modelo, la empresa asume tareas de diseño, cálculo y desarrollo técnico que, en otros contextos, serían realizadas por los equipos internos de ingeniería del cliente. Este enfoque aporta flexibilidad y capacidad de adaptación, pero sitúa a la organización en un entorno operativo caracterizado por una alta variabilidad en la carga de trabajo, plazos ajustados y una interacción constante con múltiples agentes del proyecto, como contratistas generales, ingenierías MEP y Engineers of Record (EOR).

Dentro de esta estructura, el departamento de Mechanical Equipment se encarga del diseño estructural de soportes asociados a equipos mecánicos y sistemas auxiliares, incluyendo, entre otros, soportes para equipos HVAC, estructuras para tuberías de sistemas contra incendios y vigas de izaje. Se trata de un ámbito de trabajo fuertemente condicionado por el contexto específico de cada proyecto, donde las condiciones existentes, la información disponible y los criterios de revisión externa influyen de manera significativa en el desarrollo del trabajo técnico. Aunque existen tipologías recurrentes, cada encargo presenta particularidades que requieren criterio técnico y capacidad de adaptación.

El departamento está conformado por un equipo reducido, compuesto por un ingeniero Líder (Líder del equipo), un ingeniero de nivel medio y un ingeniero junior, con la posibilidad de recurrir puntualmente a ingenieros junior de otros departamentos ante incrementos repentinos de la carga de trabajo. Esta estructura permite una operación ágil y especializada, pero concentra gran parte del conocimiento técnico y de la toma de decisiones críticas en el ingeniero Líder. En situaciones de carga moderada, este modelo resulta funcional; sin embargo, ante incrementos simultáneos de demanda, sus limitaciones se hacen evidentes.

Estos incrementos pueden producirse por la acumulación de entregables, cambios de alcance, revisiones del EOR o urgencias derivadas de la planificación de obra. En un equipo pequeño, la capacidad disponible se ve rápidamente tensionada y la asignación del trabajo debe resolverse en plazos muy cortos. En ausencia de criterios claros de priorización y de procesos técnicos suficientemente estandarizados, el departamento recurre a una gestión reactiva, basada principalmente en la experiencia del ingeniero Líder.

Como resultado, el funcionamiento del departamento se vuelve poco predecible, con una distribución del trabajo desequilibrada y un mayor riesgo de retrabajos y desviaciones en tiempo. Esta situación se agrava cuando la persona clave no está disponible, ya que determinadas tareas críticas no pueden reasignarse con facilidad, afectando al cumplimiento de plazos y a la calidad del servicio prestado.

Este tipo de problemática no es exclusiva de DOP Engineering, sino que es habitual en empresas de ingeniería que operan bajo modelos de ingeniería delegada o consultoría técnica especializada. En estos entornos, muchas organizaciones optan por absorber los picos de trabajo mediante un aumento de la carga sobre perfiles Líder, la incorporación puntual de

recursos poco familiarizados con el contexto técnico o la aceptación de una gestión reactiva basada en la urgencia. Si bien estas soluciones permiten responder a corto plazo, suelen generar efectos negativos a medio plazo, como la sobrecarga de personas clave, la pérdida de eficiencia operativa y una menor capacidad para mantener niveles homogéneos de calidad y cumplimiento de plazos.

A medio plazo, la persistencia de este tipo de funcionamiento tiene efectos relevantes sobre el propio departamento. La concentración del conocimiento y de la toma de decisiones en una sola persona dificulta el desarrollo efectivo del talento junior, perpetúa la dependencia operativa y limita la capacidad del equipo para evolucionar hacia un funcionamiento más autónomo y equilibrado. Asimismo, la falta de estructura en la gestión del trabajo reduce la previsibilidad de la operación y aumenta el riesgo de desgaste del personal clave, comprometiendo la estabilidad del departamento.

A esta problemática se suma la falta de una visión estructurada sobre el uso de la capacidad operativa del departamento. La ausencia de información sistematizada sobre el consumo real de horas y el comportamiento de los distintos tipos de proyectos dificulta identificar qué trabajos utilizan la capacidad de forma más eficiente y cuáles generan una carga desproporcionada. En contextos de saturación, esta falta de visibilidad limita la toma de decisiones informadas sobre qué tareas conviene priorizar y cuáles deberían gestionarse de otra manera.

Si esta situación se mantiene en el tiempo, el departamento continuará operando de forma reactiva, con una dependencia estructural de personas clave y una capacidad limitada para adaptarse a cambios en la demanda. Esta forma de operar no solo incrementa el riesgo operativo interno, sino que también restringe la capacidad de la empresa para planificar, escalar el servicio o responder de forma consistente a las exigencias de los clientes en un entorno cada vez más competitivo.

En este escenario, el problema central no es la falta de competencia técnica ni la escasez de proyectos, sino la ausencia de un modelo operativo y organizativo que permita gestionar de forma estructurada la capacidad del departamento en un entorno de alta variabilidad. El conocimiento crítico se encuentra en gran medida implícito y concentrado en una sola persona, los procesos no están suficientemente formalizados y la asignación del trabajo depende de decisiones tomadas bajo presión, lo que compromete la continuidad del servicio y expone al departamento a riesgos operativos relevantes.

A partir de esta situación surge la siguiente interrogante:

¿Cómo puede un departamento de ingeniería estructural, integrado por un equipo reducido, organizar su funcionamiento de manera que reduzca la dependencia de personas clave, gestione de forma más eficiente su capacidad y mantenga un desempeño estable ante cambios en la demanda?

El presente Trabajo de Fin de Máster aborda esta cuestión mediante el diseño y aplicación de un modelo de optimización organizativa en el departamento de Mechanical Equipment de DOP Engineering. El modelo se desarrollará y aplicará mediante un piloto en proyectos reales, permitiendo evaluar su impacto en la mejora de la estabilidad operativa, la toma de decisiones y la gestión del trabajo en el contexto real de la ingeniería delegada.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO:

1.2.1 Objetivo General:

Diseñar, implantar y evaluar un modelo de optimización operativa y organizativa en el departamento Mechanical Equipment de DOP Engineering, orientado a reducir la dependencia de personas clave mediante el desarrollo de capacidad interna, mejorar la toma de decisiones operativas en contextos de carga variable y aumentar la eficiencia en la gestión y ejecución de proyectos.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Analizar la situación actual del departamento Mechanical Equipment, identificando dependencias de personas clave, variabilidad en la carga de trabajo, cuellos de botella operativos y nivel de estandarización de los procesos técnicos.
- Definir una matriz de competencias técnicas y operativas del departamento que permita identificar el grado de dependencia del ingeniero Líder y las capacidades actuales del ingeniero junior.
- Diseñar un plan de desarrollo del ingeniero junior orientado a incrementar su autonomía técnica y operativa.
- Identificar y clasificar los distintos tipos de proyectos gestionados por el departamento, analizando su consumo de horas y nivel de retrabajo.
- Establecer criterios de priorización y asignación de tareas para la gestión del trabajo en escenarios de carga variable.
- Diseñar un sistema de estandarización de los procesos técnicos mediante procedimientos, plantillas y herramientas de apoyo.
- Integrar los elementos anteriores en una propuesta de optimización organizativa y aplicarla mediante un piloto en proyectos reales del departamento Mechanical Equipment.
- Evaluar los resultados del piloto en términos de dependencia operativa, estabilidad del flujo de trabajo y eficiencia en la gestión de proyectos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La problemática identificada en el departamento Mechanical Equipment no responde a una situación puntual, sino a un patrón estructural asociado a la gestión de un equipo técnico reducido en un entorno de alta variabilidad. La dependencia operativa de personas clave, la ausencia de criterios formales de priorización y la limitada estandarización de procesos generan una operación funcional en condiciones normales, pero frágil ante cambios en la carga de trabajo o en la disponibilidad de recursos.

Limitar el alcance del presente trabajo a un análisis teórico o a una propuesta conceptual no permitiría validar la efectividad real de las medidas planteadas ni comprender su impacto en la operación diaria del departamento. Dado que el objetivo es mejorar la estabilidad operativa y

reducir la dependencia estructural de personas clave, resulta necesario trasladar el modelo propuesto a un contexto práctico mediante su implantación controlada.

La implementación del proyecto mediante un piloto permite evaluar de forma concreta si las acciones definidas generan mejoras medibles en la gestión del trabajo y en la distribución de responsabilidades dentro del equipo. De igual manera, la implantación permite identificar posibles limitaciones, resistencias o ajustes necesarios antes de una eventual aplicación más amplia.

Desde una perspectiva organizativa, la intervención no solo busca optimizar la eficiencia operativa, sino también fortalecer la sostenibilidad del departamento en el tiempo, asegurando la continuidad del servicio, la transferencia de conocimiento y la consolidación progresiva de capacidades internas. En este sentido, la implantación del proyecto constituye un paso necesario para transformar un funcionamiento basado principalmente en la experiencia individual hacia un modelo más estructurado y resiliente.

1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES

El presente Trabajo de Fin de Máster se centra en el diseño y aplicación de una propuesta de optimización organizativa en el departamento Mechanical Equipment de DOP Engineering. El alcance del proyecto se limita a dicho departamento, dado que constituye un entorno representativo de los desafíos operativos asociados a equipos técnicos reducidos que operan bajo condiciones de alta variabilidad en la carga de trabajo.

El trabajo aborda aspectos relacionados con la organización del trabajo, la gestión de la capacidad operativa, la reducción de la dependencia de personas clave, el desarrollo de capacidad interna y la estandarización de procesos técnicos. Asimismo, el proyecto incluye el análisis del comportamiento de los distintos tipos de proyectos gestionados por el departamento y la definición de criterios de priorización para la toma de decisiones operativas en contextos de carga variable.

La propuesta desarrollada se implementa mediante un piloto aplicado a proyectos reales, lo que permite evaluar su impacto inicial en el funcionamiento del departamento. No obstante, el alcance del proyecto no contempla una implantación completa a largo plazo ni la medición de resultados en horizontes temporales extensos, ya que el objetivo del trabajo es validar la viabilidad y utilidad del modelo propuesto en un contexto controlado.

En cuanto a las limitaciones, el estudio se apoya en información interna del departamento y en la experiencia directa de sus integrantes, lo que implica que los resultados obtenidos están condicionados por las características específicas de DOP Engineering y de su entorno operativo. Si bien el modelo propuesto puede resultar aplicable a otros departamentos o empresas con características similares, su generalización no constituye un objetivo explícito del trabajo y requeriría adaptaciones adicionales.

Asimismo, el proyecto no aborda en profundidad aspectos relacionados con la gestión del cambio organizacional, la cultura corporativa o la evaluación del desempeño individual, centrándose exclusivamente en la dimensión operativa y organizativa del funcionamiento del departamento. Estas cuestiones, aunque relevantes, quedan fuera del alcance del presente estudio y podrían ser objeto de trabajos futuros.

1.5 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El presente trabajo se estructura en los siguientes apartados, que permiten abordar de forma ordenada el problema identificado y desarrollar la propuesta de optimización organizativa:

- **Planteamiento del problema:** Se expone el problema central que motiva el desarrollo del proyecto, relacionado con la gestión operativa de un departamento de ingeniería estructural compuesto por un equipo reducido y sometido a alta variabilidad en la carga de trabajo. En este apartado se identifican las principales limitaciones del modelo actual de funcionamiento y se formula la pregunta motriz que guía el trabajo.
- **Contexto organizacional:** Se presenta la empresa DOP Engineering, su modelo de negocio como intermediario en la cadena de subcontratación, su estructura organizativa y el departamento Mechanical Equipment objeto de estudio, con el fin de situar el problema en su contexto operativo real.
- **Marco Teórico:** Se presentan los conceptos, enfoques y herramientas teóricas que sustentan el desarrollo del proyecto. Este apartado incluye nociones relacionadas con la gestión operativa, la organización del trabajo en equipos pequeños, la gestión de la capacidad, la estandarización de procesos y la toma de decisiones en contextos de carga variable, que servirán de base para el análisis y la propuesta planteada.
- **Descripción y diagnóstico de la situación actual:** Se describe en detalle el funcionamiento actual del departamento Mechanical Equipment, incluyendo la organización del trabajo, la asignación de tareas, el rol de cada integrante y los procesos técnicos utilizados. A partir de esta descripción, se realiza un diagnóstico de la situación actual, identificando dependencias críticas, cuellos de botella operativos y principales factores que afectan a la estabilidad del flujo de trabajo. Para ello, se podrán emplear herramientas de análisis de procesos y de identificación de causas.
- **Análisis del problema (integrado en el diagnóstico):** En este apartado se analizan en profundidad los datos e información recopilados durante el diagnóstico, con el objetivo de comprender cómo se utiliza la capacidad operativa del departamento, cómo se comportan los distintos tipos de proyectos y qué factores generan mayor variabilidad y dependencia. El análisis permitirá identificar las causas principales del problema y sentar las bases para la definición de soluciones.
- **Propuesta de optimización organizativa:** Se desarrolla la propuesta de mejora planteada en el proyecto, integrando los distintos elementos del modelo de optimización organizativa. En este apartado se describen las medidas orientadas a reducir la dependencia de personas clave, mejorar la gestión de la capacidad, establecer criterios de priorización y estandarizar los procesos técnicos. Asimismo, se justifica la selección de la propuesta en función de criterios como viabilidad, impacto esperado y esfuerzo de implantación.
- **Aplicación del modelo y piloto:** Se describe la implantación del modelo propuesto mediante un piloto aplicado a proyectos reales del departamento Mechanical

Equipment. Se detallan las acciones realizadas, el alcance del piloto y las condiciones en las que se llevó a cabo, con el fin de evaluar la aplicabilidad práctica de la propuesta.

- Evaluación de los resultados: Se analizan los resultados obtenidos tras la aplicación del piloto, evaluando el impacto del modelo en términos de dependencia operativa, estabilidad del flujo de trabajo, eficiencia en la gestión de tareas y calidad de la toma de decisiones. Este apartado permite contrastar los objetivos planteados con los resultados alcanzados.
- Conclusiones y líneas futuras: Se presentan las conclusiones finales del trabajo en relación con los objetivos definidos, destacando los principales aprendizajes y aportaciones del proyecto. Asimismo, se identifican las limitaciones del estudio y se proponen posibles líneas de mejora o extensión futura del modelo dentro de la empresa.

2.2 Misión, visión y valores corporativos

La misión y la visión de DOP Engineering establecen el marco de propósito y ambición que orienta el funcionamiento de la empresa y define su posicionamiento estratégico. Ambas han sido formuladas de forma oficial por la dirección y constituyen el referente de actuación para todos los equipos:

Misión (Traducción del original en inglés): En DOP Engineering, nuestra misión es servir a los clientes y a la sociedad como una empresa que ofrece soluciones de ingeniería avanzadas, precisas y eficientes, que potencian el desarrollo de proyectos comerciales y residenciales de forma segura, sostenible y con tecnología de vanguardia. DOP Engineering promoverá, como referencia de su firme compromiso con la excelencia e innovación en ingeniería, la vocación de servicio a sus clientes, el desarrollo de sus profesionales, sus principios éticos, los altos estándares corporativos, la responsabilidad social, la calidad, la seguridad de su personal y el cuidado del medio ambiente.

Visión (Traducción del original en inglés): El diseño, el desarrollo y la ejecución de soluciones orientadas al futuro han sido el núcleo de nuestra actividad desde el primer día. Nos dedicamos por completo a nuestros clientes y convertimos sus proyectos complejos de una visión en realidad. En cada paso del camino, nos esforzamos por obtener los mejores resultados de una manera segura, sostenible y eficiente. Nos esforzamos por convertirnos en el socio de referencia en soluciones de ingeniería para nuestros clientes. Eso no significa simplemente aceptar el cambio tal y como se produce y adaptarnos a él, sino ser la fuerza motriz detrás de ese cambio. Ya sea trabajando en proyectos locales a pequeña escala o en las iniciativas multinacionales más grandes y complejas, la posibilidad de que exista una forma mejor, más inteligente y más eficiente de hacer las cosas es lo que nos impulsa a seguir avanzando y a ofrecer los mejores resultados posibles a nuestros clientes.

Del análisis de la misión y la visión se desprenden los valores corporativos que articulan la actuación de la empresa:

Excelencia técnica e innovación: compromiso con la precisión y calidad de las soluciones de ingeniería como referente de la firma.

Orientación al cliente: el cliente y la sociedad son el centro de todas las decisiones; el servicio es una vocación, no una transacción.

Desarrollo profesional: inversión en el crecimiento de las personas como condición necesaria para sostener la calidad del servicio.

Ética y responsabilidad corporativa: principios éticos y responsabilidad social como referentes no negociables de actuación.

Sostenibilidad y seguridad: consideración del impacto ambiental y la seguridad de las personas en todos los proyectos.

El valor de desarrollo profesional y el de orientación al cliente son especialmente relevantes en el contexto del presente trabajo: el objetivo de ampliar la autonomía técnica del equipo junior es directamente coherente con el compromiso declarado de la empresa con el desarrollo de sus profesionales, y la propuesta de mejora de la capacidad operativa del departamento responde al compromiso de ofrecer soluciones eficientes y en plazo a los clientes.

2.3 Modelo de negocio y cadena de valor

El modelo de negocio de DOP Engineering se basa en la prestación de servicios de ingeniería delegada: la empresa actúa como proveedor externo especializado que produce documentación técnica certificada que sus clientes necesitan para avanzar en sus proyectos de construcción. Este modelo es habitual en el mercado de la construcción estadounidense, donde la especialización técnica y la necesidad de certificación por ingenieros registrados generan una demanda constante de servicios de ingeniería subcontratada.

Un elemento determinante del modelo de negocio de DOP Engineering es su posición como intermediario en una cadena de varios eslabones. El flujo habitual del mercado es el siguiente: el propietario del proyecto contrata a un contratista general, quien subcontrata a un contratista especializado (por ejemplo, un instalador de sistemas de climatización o de equipos mecánicos). Es este subcontratista el que, al necesitar documentación de ingeniería certificada para obtener permisos o cumplir las especificaciones del proyecto, contrata a DOP Engineering. Esto significa que DOP raramente tiene contacto directo con el propietario final del proyecto; su cliente inmediato es el subcontratista, quien transmite requerimientos que han pasado previamente por el contratista general y, en muchos casos, por el arquitecto o el ingeniero de instalaciones del proyecto.

Esta posición en la cadena tiene consecuencias prácticas relevantes para la gestión operativa de los departamentos técnicos. La información que llega a DOP puede haber pasado por varios filtros y reinterpretaciones antes de convertirse en una solicitud concreta, lo que incrementa la probabilidad de ambigüedades en el alcance. Los plazos de entrega suelen ser cortos porque el subcontratista ya acumula la presión de sus superiores en la cadena. Y los cambios de alcance a mitad de proyecto son frecuentes, dado que las modificaciones en el diseño del proyecto principal se propagan hacia abajo a lo largo de toda la cadena.

La tipología de clientes de DOP Engineering es amplia: propietarios de viviendas residenciales que necesitan un diseño certificado para instalar un generador o un equipo de climatización; contratistas generales y subcontratistas que requieren documentación técnica como parte del proceso de permisología; y gestores de instalaciones industriales, hospitalarias y comerciales que demandan proyectos de mayor envergadura y complejidad. Esta diversidad de clientes y sectores implica variabilidad en el tipo de proyectos, su complejidad técnica y los estándares aplicables, lo que exige a los equipos técnicos una capacidad de adaptación continua.

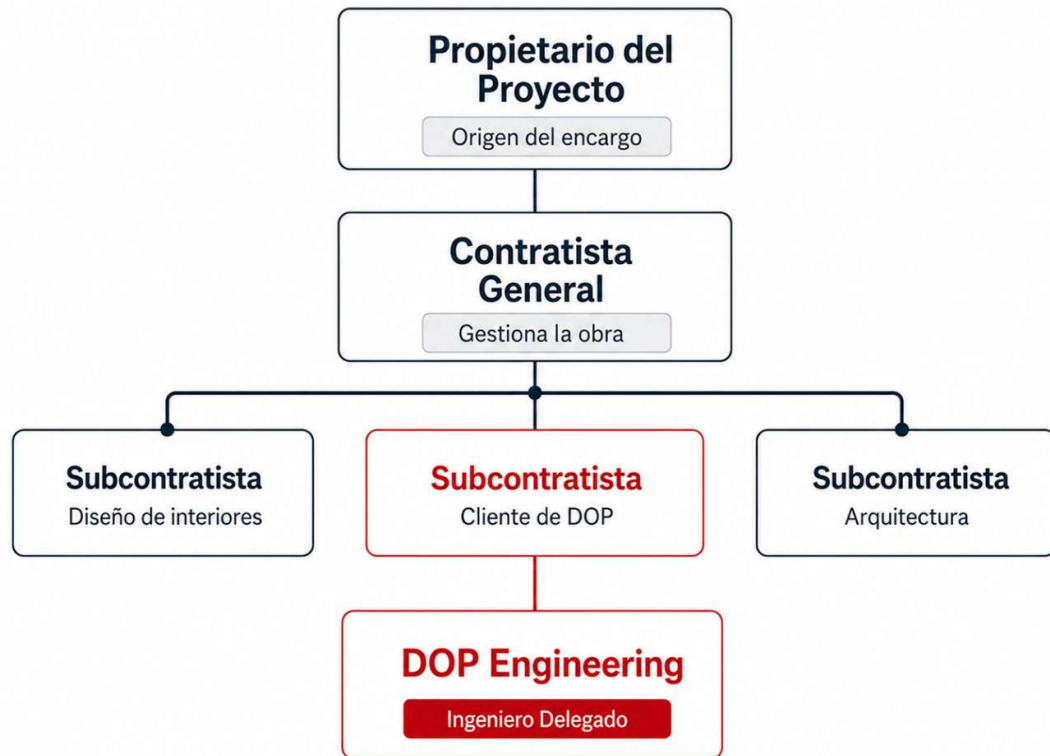


Figura 2: Posición de DOP Engineering en la cadena de subcontratación

2.4 Estructura organizativa

DOP Engineering está estructurada en tres grandes áreas funcionales que reportan al Chief Operating Officer (COO): el área de Gestión Operacional, el área Administrativa y el área de Desarrollo de Negocio. Esta estructura refleja la separación entre la función de producción técnica, el soporte interno y la captación de negocio.

El área de Gestión Operacional, dirigida por el Operational Manager, concentra toda la actividad técnica y de entrega de valor. Incluye el Engineering Manager, responsable de los cinco departamentos de ingeniería; el Project Coordinator, encargado de la coordinación de proyectos entre departamentos y clientes; y el Inspection Manager, que supervisa el departamento de inspecciones en campo. Los cinco departamentos técnicos bajo el Engineering Manager son: Glass and Glazing, Structures and Retrofits, Metals and Woods, Mechanical Equipment y Collaborations and Ventures. Cada departamento cuenta con un leader técnico y un design engineer fijo; además de un grupo común de design engineers que suelen moverse de manera horizontal en 2 o más departamentos; el departamento de Structures and Retrofits dispone además de un drafter dedicado.

El área Administrativa, dirigida por el Administrative Manager, agrupa las funciones de soporte interno: IT, administración de oficina, recursos humanos y gestión de procesos de negocio. El área de Desarrollo de Negocio, bajo el Business Development Manager, incluye las funciones de marketing digital, ventas, gestión de cuentas clave y desarrollo de

oportunidades comerciales. Esta estructura de tres pilares permite que el área operacional se concentre en la entrega técnica mientras las otras dos áreas gestionan el soporte y el crecimiento del negocio.

El reducido tamaño de la empresa (aproximadamente 30 empleados distribuidos en tres áreas y cinco departamentos técnicos) implica que cada equipo opera con alta autonomía interna y recursos limitados. Los departamentos técnicos tienen equipos de dos a tres personas, lo que genera una dependencia directa entre la capacidad operativa del equipo y la distribución de competencias dentro de él. En este contexto, la ausencia de redundancia técnica en los perfiles clave y la concentración del conocimiento en el ingeniero Líder son riesgos operativos inherentes al modelo que la empresa debe gestionar de forma activa.

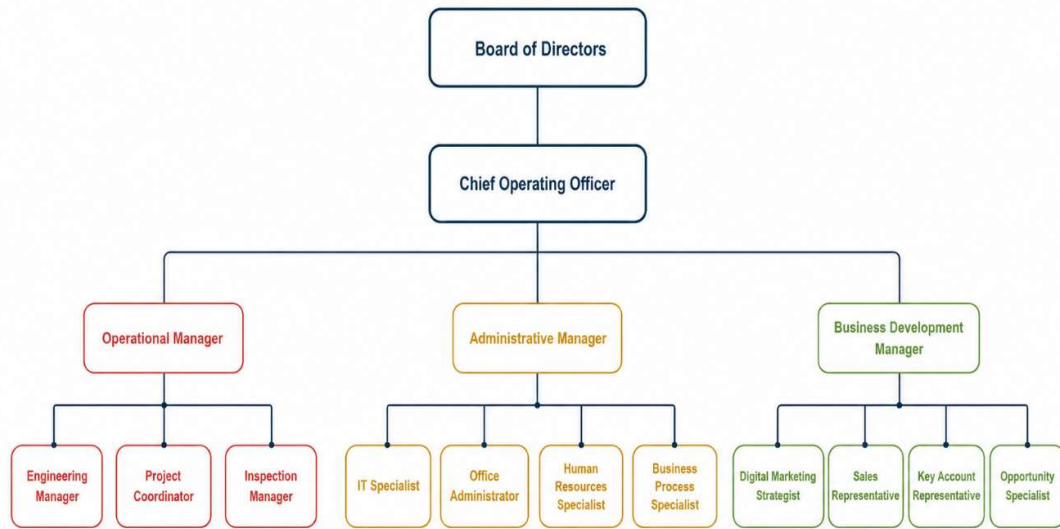


Figura 3: Organigrama de la empresa

2.5 El departamento Mechanical Equipment

El departamento Mechanical Equipment es uno de los cinco departamentos técnicos de DOP Engineering y se encarga del diseño estructural de soportes y anclajes para equipos mecánicos y sistemas de instalaciones: climatización y ventilación (HVAC), tuberías de chillers, sistemas de gases industriales, generadores y otros equipos que requieren soporte estructural certificado. El departamento atiende principalmente proyectos del sector comercial, hospitalario e industrial, con una presencia menor pero constante del sector residencial, fundamentalmente para soportes de generadores en viviendas unifamiliares.

El equipo del departamento está compuesto por el Mechanical Equipment Leader, quien ejerce además las funciones de design engineer Líder y es el responsable técnico de todos los entregables del departamento, y dos Mechanical Equipment Design Engineer, uno de los cuales se encuentra en proceso de formación, incorporado en noviembre de 2025. El Líder reporta directamente al Engineering Manager y es el único perfil del departamento con autoridad para

validar los entregables antes de su envío al cliente y antes de la firma del PE. Puntualmente, ante incrementos de demanda, el departamento puede recurrir a design engineers de otros departamentos.

Las herramientas de trabajo del departamento son softwares especializados como RISA 3D, RFEM, Hilti Profis y hojas de cálculo estructuradas en Microsoft Excel para el análisis y dimensionamiento estructural, AutoCAD para la producción de planos técnicos y detalles constructivos, y Striven como plataforma CRM para la gestión del estado de los proyectos, el registro de horas, la comunicación interna y la trazabilidad de los encargos desde su recepción hasta su entrega. El uso de Striven como registro de proyectos y horas es especialmente relevante de cara al plan de mejora propuesto, ya que proporciona los datos necesarios para el seguimiento de los indicadores de rendimiento.

El departamento gestiona siete tipologías de proyecto diferenciadas: Mechanical Roof Enclosures, HVAC Duct Stands, Chiller Pipe Stands, HVAC Units Stands, Curb Attachments, Cable Tie-Downs y Residential Generator Stands. Con una carga habitual de 4 proyectos activos simultáneos por semana con picos de 5 proyectos y plazos de entrega de aproximadamente dos semanas desde la asignación, el departamento opera en un entorno de alta rotación de proyectos que exige una gestión eficiente de la capacidad disponible.

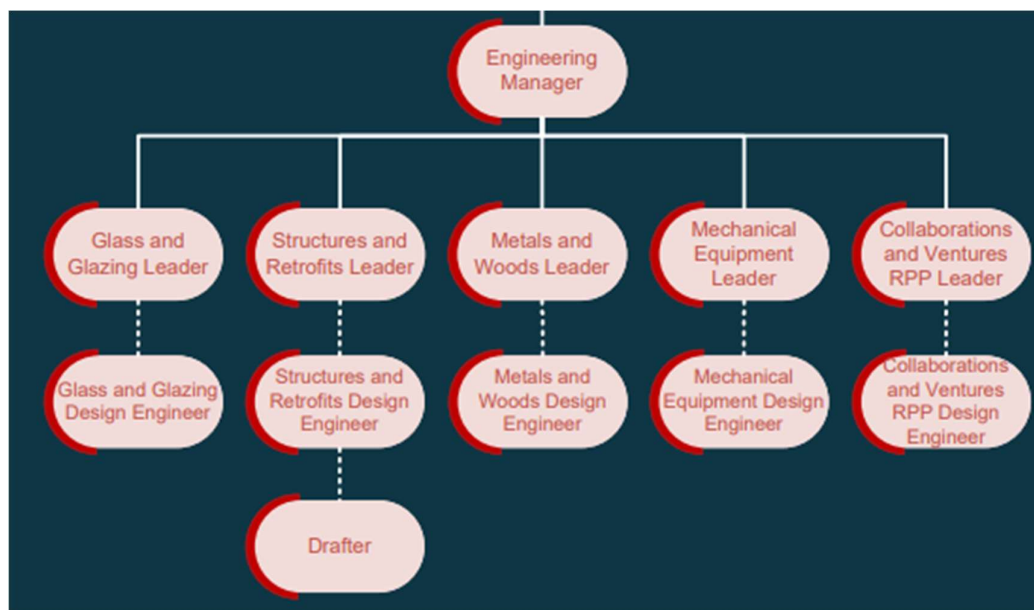


Figura 4: Departamento de Mechanical Equipment en el organigrama.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 El modelo de ingeniería delegada

La ingeniería delegada es un modelo organizativo en el que una empresa externa asume funciones técnicas especializadas que, en otros contextos, serían desarrolladas por los equipos internos del cliente. A diferencia de la consultoría convencional, orientada a la recomendación, la ingeniería delegada implica la ejecución directa de tareas dentro del ciclo productivo del

cliente: diseño, cálculo, elaboración de documentación técnica y coordinación con los agentes del proyecto.

Este modelo se ha extendido en sectores como la construcción, impulsado por la necesidad de acceder a capacidad técnica especializada de forma flexible, sin los costes fijos de la contratación permanente. Desde la perspectiva del proveedor, la ingeniería delegada exige adaptación continua a entornos cambiantes, alta especialización técnica y una gestión operativa orientada a la eficiencia, ya que el valor aportado se mide directamente en calidad técnica y cumplimiento de plazos.

Las características operativas que definen estos entornos son: variabilidad en la demanda, con fluctuaciones frecuentes en el volumen y tipo de encargos recibidos; dependencia de información externa, dado que el avance del trabajo depende de datos y documentos proporcionados por el cliente u otros agentes; cambios frecuentes en el alcance, derivados de modificaciones en el diseño o revisiones del ingeniero registrado (EOR); y necesidad de respuesta ágil, ya que los plazos de entrega suelen ser cortos y el cliente espera coordinación técnica fluida.

En el caso de DOP Engineering, estas características se manifiestan con especial intensidad en el departamento Mechanical Equipment, donde el equipo produce diseños estructurales que deben ser validados por el EOR antes de su implantación en obra. Esta dependencia de validación externa añade incertidumbre al flujo interno, ya que los tiempos de respuesta del EOR no son controlables por el departamento y pueden generar acumulación de trabajo pendiente en semanas concretas.

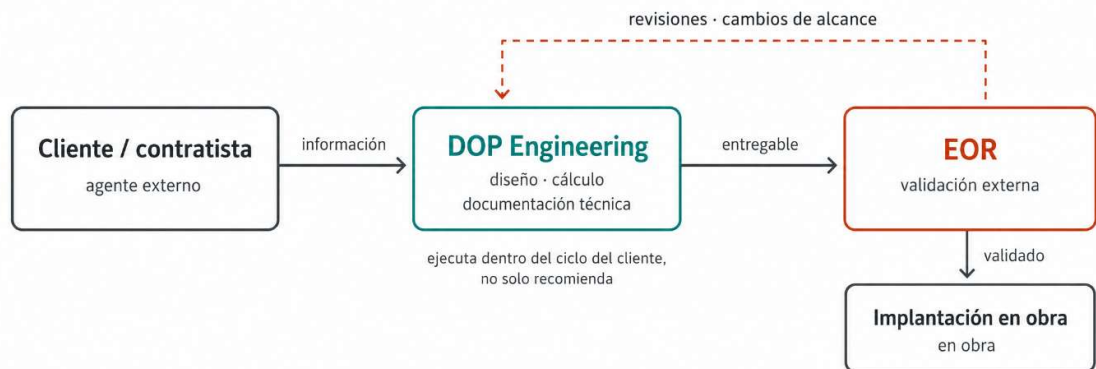


Figura 5: Flujo de trabajo del modelo de ingeniería delegada.

3.2 La metodología DMAIC como marco de mejora continua

La metodología DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) es un ciclo estructurado de mejora de procesos desarrollado en el marco del enfoque Six Sigma y adoptado como referencia para proyectos de mejora continua en entornos industriales y de servicios. Su principal aportación es organizar el proceso de mejora en cinco fases secuenciales con herramientas específicas y criterios de avance claramente definidos, proporcionando una estructura rigurosa para abordar problemas operativos complejos.

La fase de Definición (Define) establece con precisión el problema a resolver, los objetivos del

proyecto, el alcance de la intervención y los actores implicados. Las herramientas principales son el Project Charter, que formaliza el problema y los objetivos; el diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers), que delimita el proceso objeto de estudio; y la voz del cliente (VOC), que identifica los requisitos clave desde la perspectiva del destinatario del servicio. Esta fase es fundamental porque un diagnóstico impreciso del problema conduce a propuestas de mejora mal orientadas.

La fase de Medición (Measure) caracteriza el estado actual del proceso mediante datos cuantificables. Su objetivo es entender cómo se comporta el proceso hoy, cuál es su capacidad real y dónde se producen las desviaciones más significativas. Las herramientas principales son el Value Stream Map (VSM), el Data Collection Plan y las métricas de rendimiento del proceso. Un principio central de esta fase es que las decisiones de mejora deben basarse en datos objetivos y no en percepciones.

La fase de Análisis (Analyze) identifica las causas raíz que explican el comportamiento observado en la fase anterior. No se trata de describir síntomas, sino de comprender por qué se producen. Las herramientas principales son el diagrama de Ishikawa (causa-efecto), el análisis de Pareto, los mapas de proceso y, cuando los datos lo permiten, análisis estadísticos de correlación. El resultado es una lista priorizada de causas raíz sobre las que diseñar las acciones de mejora.

La fase de Mejora (Improve) diseña, evalúa e implementa las soluciones que abordan las causas raíz identificadas, evaluadas en función de viabilidad, impacto esperado y esfuerzo de implantación. Esta fase habitualmente incluye la realización de un piloto controlado antes de la implantación definitiva. Finalmente, la fase de Control garantiza que las mejoras se sostienen en el tiempo, mediante indicadores clave de rendimiento (KPIs), cuadros de mando y mecanismos de prevención del error. El presente trabajo adopta el ciclo DMAIC como marco metodológico principal: las fases Define, Measure y Analyze corresponden al diagnóstico del Capítulo 4; la fase Improve corresponde a la propuesta del Capítulo 5; y la fase Control se desarrolla en el Capítulo 6.



Figura 6: Ciclo DMAIC y Herramientas a utilizar

3.3 El Value Stream Map como herramienta de diagnóstico de flujos

El Value Stream Map (VSM) o mapa de flujo de valor es una herramienta de la metodología Lean que representa visualmente el conjunto de actividades (tanto las que añaden valor como las que no lo hacen) necesarias para entregar un producto o servicio al cliente. Desarrollado en el sistema de producción Toyota, el VSM ha demostrado su utilidad en entornos de servicios, incluida la ingeniería, donde el flujo de valor no es físico sino informacional y técnico.

Un VSM representa, para cada etapa del proceso, el actor responsable, el tiempo de proceso (flow time), el tiempo de espera entre etapas y el tipo de actividad (valor añadido o no valor añadido). El análisis del VSM permite identificar los desperdicios del proceso: tiempos de espera innecesarios, retrabajos, sobreproducción y procesos no estandarizados. En entornos de servicios técnicos, los principales desperdicios identificables son los loop backs o marchas atrás (etapas que deben repetirse por errores no resueltos), los handoffs o cambios de mano que generan demoras y pérdida de contexto, y los tiempos de espera ante puertas de revisión, donde el trabajo está completado, pero no puede avanzar por falta de disponibilidad del revisor.

Las métricas clave extraídas del VSM son el Lead Time, que es el tiempo total desde el inicio del proyecto hasta su entrega al cliente incluyendo esperas; el Flow Time o tiempo de proceso activo; y el tiempo de valor añadido, que es la proporción del tiempo total correspondiente a actividades que directamente contribuyen al entregable. La diferencia entre el Lead Time y el tiempo de valor añadido representa el potencial de mejora del proceso. En el departamento Mechanical Equipment, el VSM elaborado para un proyecto tipo de soporte HVAC revela que las dos puertas de revisión obligatorias del ingeniero Líder son los puntos donde el flujo se detiene con mayor frecuencia, no por falta de avance técnico, sino por insuficiencia de capacidad de revisión disponible.

Propuesta de optimización organizativa en DOP Engineering: departamento Mechanical Equipment
Fernando Antonio Moya Matthey

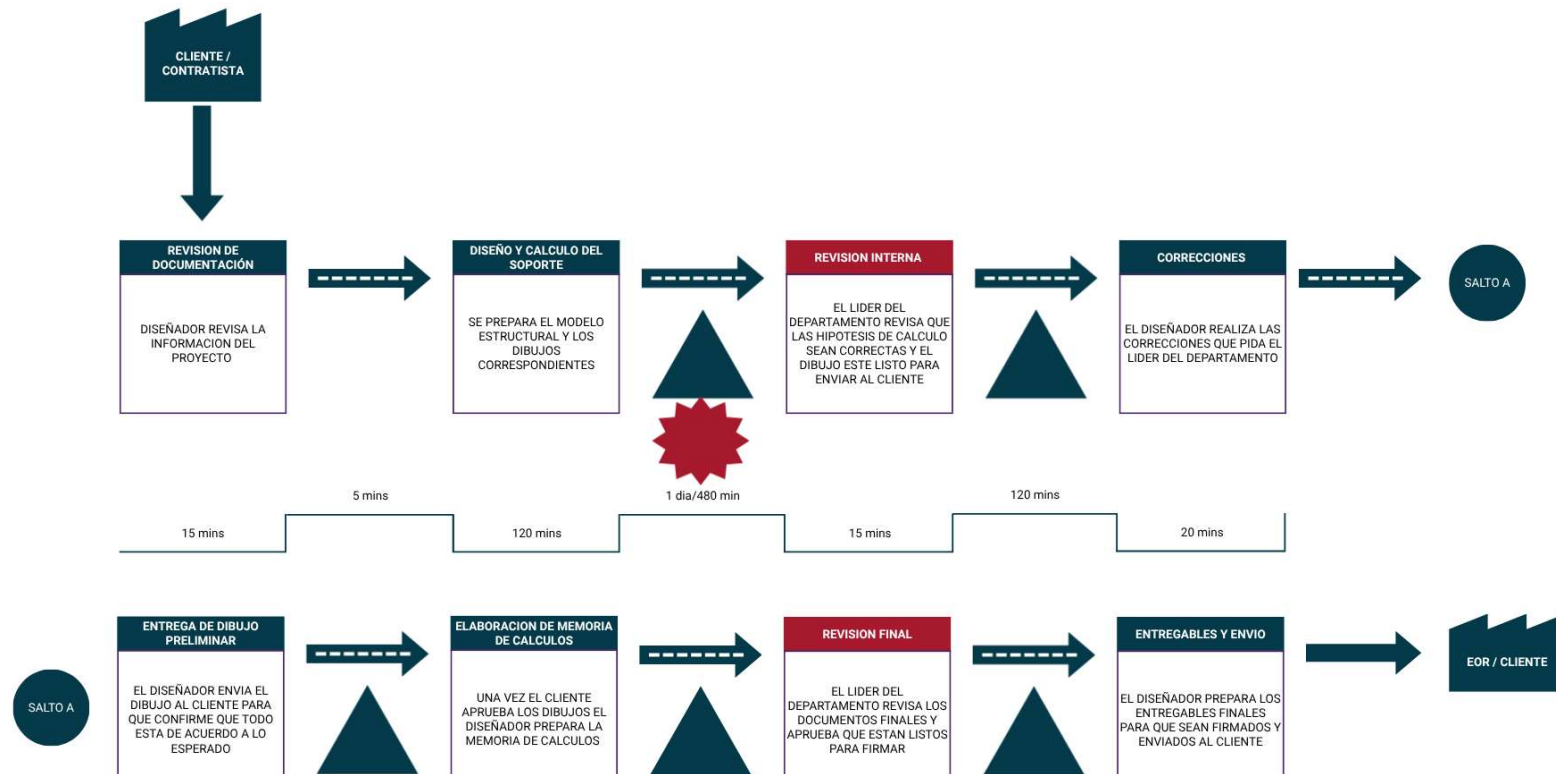


Figura 7: Value Stream Map genérico depto. Mechanical equipment

3.4 Gestión de la capacidad operativa en equipos técnicos reducidos

La capacidad operativa de un sistema es el volumen máximo de trabajo que puede procesar en un período determinado bajo condiciones normales de operación. En equipos técnicos reducidos, la capacidad no depende únicamente del número de personas disponibles, sino del nivel de autonomía efectiva de cada integrante: dos equipos con igual número de integrantes, pero diferente distribución de autonomía técnica tendrá capacidades operativas distintas.

La gestión de la capacidad implica el análisis continuo del equilibrio entre la demanda de trabajo entrante y la oferta de capacidad disponible. Cuando la demanda supera consistentemente la capacidad en algún punto del proceso, el sistema opera en condiciones de sobrecarga, lo que genera retrasos acumulativos, decisiones reactivas y mayor riesgo de error. En entornos de ingeniería delegada, la gestión de la capacidad es especialmente compleja porque la demanda no es uniforme: los proyectos llegan de forma irregular, tienen duraciones variables y pueden acumular picos de revisión cuando varios alcanzan simultáneamente sus fases críticas.

La noción de capacidad efectiva distingue entre la capacidad instalada (horas totales disponibles) y la capacidad realmente utilizable para trabajo de valor añadido. En el departamento Mechanical Equipment, la capacidad instalada del Líder es de 15 horas semanales dedicadas al departamento, pero la capacidad disponible para revisión es de únicamente 3 a 4 horas, entre el 20% y el 27% del total. Este porcentaje define el límite real de la capacidad de entrega del departamento y es el indicador que más directamente condiciona la respuesta a la variabilidad de la demanda.

Una de las estrategias más efectivas para ampliar la capacidad efectiva sin aumentar el número de personas es el desarrollo de la autonomía técnica de los perfiles junior. A medida que el junior adquiere la capacidad de resolver etapas del proceso sin intervención del Líder, la carga de revisión disminuye y la capacidad efectiva del equipo aumenta. Este principio fundamenta el plan de desarrollo técnico propuesto en el Capítulo 5 del presente trabajo.

3.5 La Teoría de las Restricciones y la identificación de cuellos de botella

La Teoría de las Restricciones (TOC), desarrollada por Eliyahu Goldratt, establece que en todo sistema existe al menos una restricción que limita su capacidad de alcanzar su objetivo. En sistemas productivos, esta restricción se denomina cuello de botella: el recurso cuya capacidad es inferior a la demanda que recibe y que por tanto determina el ritmo máximo de producción de todo el sistema.

La TOC propone un proceso de cinco pasos para gestionar las restricciones: identificar la restricción del sistema; explotar la restricción, maximizando su uso dentro de sus límites actuales sin añadir recursos; subordinar todo lo demás a la restricción, de forma que ninguna otra parte del sistema genere trabajo más rápido de lo que la restricción puede procesarlo; elevar la restricción, aumentando su capacidad si los pasos anteriores son insuficientes; y, una vez eliminada la restricción, retornar al primer paso para identificar la nueva limitación del sistema.

En entornos de servicios técnicos, el cuello de botella suele ser el recurso de mayor especialización: el perfil que concentra el conocimiento crítico y que es indispensable en las etapas de mayor complejidad o responsabilidad. La dependencia de este recurso se convierte

en una restricción sistémica cuando su capacidad es estructuralmente insuficiente para la demanda que recibe. En el departamento Mechanical Equipment, el Líder actúa como restricción del sistema en las dos puertas de revisión obligatorias: ningún entregable puede salir del departamento sin su validación. La solución no pasa necesariamente por aumentar las horas del Líder, sino por reducir la demanda que les llega a las puertas mediante estandarización de procesos y desarrollo de la autocorrección del junior.

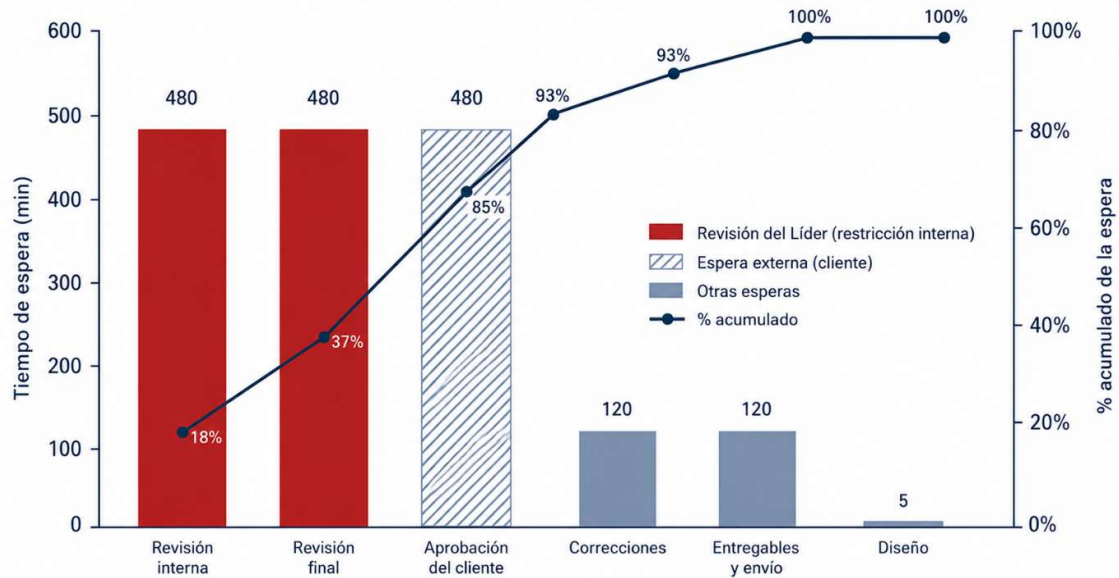


Figura 8: Distribución del tiempo de espera por etapas de acuerdo al VSM.

3.6 Estandarización de procesos en entornos técnicos

La estandarización de procesos consiste en la definición formal de procedimientos, criterios y herramientas que determinan cómo debe ejecutarse una tarea recurrente. Su objetivo no es eliminar el juicio técnico, sino estructurar los elementos repetitivos del trabajo para reducir la variabilidad, facilitar la transferencia de conocimiento y mejorar la predictibilidad del proceso.

En el contexto de la ingeniería, la estandarización es frecuentemente malinterpretada como una limitación a la autonomía técnica. Sin embargo, aplicada correctamente, opera en el nivel de los procesos y los criterios de decisión, no en el de las soluciones técnicas. Un procedimiento estandarizado para un proyecto de soporte HVAC no determina cuál es el perfil estructural correcto para cada situación, sino qué información debe recopilarse antes de comenzar el diseño, en qué orden deben ejecutarse los pasos del análisis, qué verificaciones deben realizarse antes de dar el trabajo por completado y qué formato debe tener el entregable final. Este tipo de estandarización reduce significativamente el tiempo de revisión, ya que el revisor puede verificar que el proceso se ha seguido correctamente en lugar de reconstruir el razonamiento técnico desde cero.

Las herramientas principales de estandarización en entornos técnicos son los procedimientos operativos estándar (SOPs), que documentan el proceso paso a paso; las listas de verificación o checklists, que permiten al ejecutor validar su propio trabajo antes de someterlo a revisión;

las plantillas de cálculo, que estructuran el análisis en un formato predefinido y verificable; y los planes maestros, que en proyectos de tipología recurrente ofrecen una solución base adaptable a las particularidades de cada caso.

El valor de la estandarización se hace especialmente evidente cuando se comparan procesos estandarizados con procesos no estandarizados dentro de la misma organización. En el departamento Mechanical Equipment, la diferencia entre el tiempo de revisión de un proyecto de soportes de generadores residenciales (que dispone de plan maestro, con revisión que se limita a verificar la dirección modificada) y un proyecto de soportes para tuberías HVAC (sin procedimiento estandarizado, con revisión de aproximadamente 30 minutos) ilustra el impacto cuantificable de la estandarización sobre la carga del revisor y la velocidad de entrega.

Aspecto	Generadores Residenciales (estandarizado)	Soportes HVAC (No estandarizado)
Estandarización disponible	Plan Maestro + Plantilla de cálculo	Ninguna
Alcance del diseño	Verificar cargas de acuerdo a la ubicación	Diseño y cálculos desde cero
Tiempo del proceso	90 min	205 min
Correcciones	0 min	20 min
Revisión del líder	0 min	30 min
Total de horas de trabajo	90 min	255 min

Tabla 1: Comparación tiempos de trabajo proyectos estandarizados vs no estandarizados

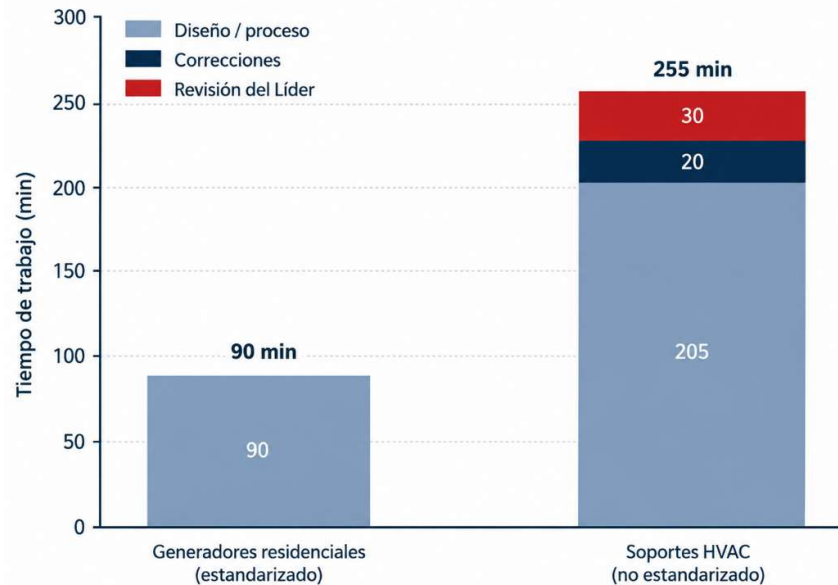


Figura 9: Impacto de la estandarización en la carga de trabajo

3.7 Matrices de competencias técnicas

La matriz de competencias técnicas es una herramienta de gestión de equipos que permite representar de forma visual y estructurada el nivel de dominio de cada integrante en las competencias clave para el desarrollo del trabajo. Su uso en entornos de ingeniería permite identificar brechas de capacidad, planificar el desarrollo de perfiles junior y reducir la dependencia de personas clave al hacer visible la distribución real del conocimiento dentro del equipo.

La construcción de una matriz de competencias requiere, en primer lugar, definir las competencias relevantes para el puesto. En un equipo de ingeniería estructural, estas comprenden competencias técnicas (lectura de planos, cálculo estructural, uso de software, redacción de memorias) y competencias de gestión del proyecto (interpretación del alcance, coordinación con el cliente, evaluación de la complejidad de un encargo, gestión del estado del proyecto en el sistema CRM). En segundo lugar, se define una escala de evaluación del nivel de dominio. La escala de cuatro niveles más habitual distingue entre: No apto, cuando el integrante no puede realizar la tarea de forma independiente; En desarrollo, cuando puede realizarla con supervisión constante; Funcional, cuando puede realizarla con supervisión puntual; y Autónomo, cuando puede realizarla sin supervisión.

La matriz resultante permite visualizar de un vistazo qué tareas están concentradas en una sola persona y qué brechas específicas existen en los perfiles junior. Esta información es la base de cualquier plan de desarrollo técnico orientado a ampliar la capacidad operativa efectiva del equipo. En el caso del departamento Mechanical Equipment, la matriz de competencias cumple una función diagnóstica fundamental: permite objetivar la brecha entre las capacidades actuales del junior (quien se incorporó al equipo en noviembre de 2025) y las requeridas para operar con mayor autonomía, definiendo así el punto de partida del plan de desarrollo propuesto en el Capítulo 5.

3.8 Desarrollo de capacidad interna y transferencia de conocimiento

El desarrollo de capacidad interna en equipos técnicos es el proceso estructurado mediante el cual los integrantes junior incrementan su nivel de autonomía hasta poder asumir responsabilidades que actualmente recaen en el perfil Líder. Este proceso no ocurre de forma espontánea: requiere intervención deliberada a través de mecanismos formales de transferencia de conocimiento.

La distinción entre conocimiento tácito y conocimiento explícito es fundamental para entender los mecanismos de transferencia. El conocimiento explícito es formalizable y transferible a través de documentos, procedimientos y plantillas; puede consultarse de forma independiente por cualquier miembro del equipo. El conocimiento tácito, en cambio, está ligado a la experiencia y el juicio del individuo: se manifiesta en la capacidad de evaluar si una solución es técnicamente correcta, de identificar si un proyecto presenta complejidades no evidentes a primera vista o de interpretar los criterios implícitos de un EOR. Este tipo de conocimiento no puede transferirse mediante documentación, sino a través de la exposición supervisada a situaciones reales con retroalimentación estructurada.

En el departamento Mechanical Equipment, la brecha de competencias del junior se concentra precisamente en tareas que requieren conocimiento tácito: la evaluación de la complejidad de un proyecto y la interpretación y resolución autónoma de los comentarios del EOR. Estas son las tareas que más contribuyen a la carga de revisión del Líder y las que más difícilmente se transfieren mediante documentación estándar.

Los mecanismos de desarrollo de capacidad interna más efectivos en este contexto son la asignación progresiva de responsabilidades con reducción gradual de la supervisión; los debriefs estructurados tras cada revisión del Líder, en los que se explica el razonamiento detrás de los comentarios realizados; la revisión comentada de proyectos anteriores como material de formación; y el establecimiento de hitos de evaluación periódicos que permitan verificar el progreso y ajustar el plan de desarrollo. El plan propuesto en el Capítulo 5 combina estos mecanismos en una secuencia de doce meses con objetivos y criterios de evaluación definidos para cada trimestre.



Figura 10: Estructura general del plan de desarrollo a doce meses

3.9 Criterios de priorización operativa en sistemas con recursos limitados

En todo sistema donde la demanda supera ocasionalmente la capacidad disponible, la priorización de tareas es una decisión operativa inevitable. La diferencia entre una organización que gestiona bien esta situación y una que no lo hace reside en si esa decisión se toma de forma estructurada, con criterios explícitos y consistentes, o de forma reactiva, basada en la urgencia

percibida en cada momento.

La ausencia de criterios formales de priorización genera varios efectos negativos: inconsistencia en las decisiones (ante la misma situación, el criterio puede variar según el momento y quien decide); riesgo de que proyectos de alto impacto sean desplazados por urgencias de bajo valor; y aumento del estrés operativo del responsable, que debe tomar estas decisiones bajo presión sin un marco de referencia claro. Formalizar los criterios de priorización no elimina la necesidad de juicio, pero sí lo estructura, haciéndolo más predecible, transferible y menos dependiente de la experiencia acumulada de una sola persona.

Los criterios de priorización más comunes en entornos de servicios técnicos combinan variables de urgencia (fecha comprometida con el cliente, proximidad del plazo de entrega), impacto (consecuencias para el cliente o el proyecto en caso de retraso), consumo de capacidad (tiempo estimado de revisión, complejidad de la tarea) y antigüedad (tiempo que lleva el entregable esperando revisión). En el departamento Mechanical Equipment, la priorización actual se realiza de forma intuitiva siguiendo tres criterios no formalizados: urgencia del plazo, simplicidad de la revisión y orden de llegada. La formalización de estos criterios, con reglas claras para situaciones de conflicto entre ellos, es uno de los elementos de la propuesta del Capítulo 5.

3.10 Indicadores clave de rendimiento y sistemas de control

Los indicadores clave de rendimiento (KPIs) son métricas seleccionadas para evaluar el desempeño de un proceso en relación con sus objetivos. En el marco del ciclo DMAIC, los KPIs corresponden a la fase de Control: son los instrumentos que permiten verificar que las mejoras implementadas se mantienen en el tiempo y que el proceso no regresa a sus patrones anteriores.

Un KPI útil debe reunir cuatro características: ser medible de forma objetiva, con un procedimiento de cálculo claro; ser relevante, reflejando directamente el objetivo que se quiere alcanzar; ser accionable, de modo que una desviación en su valor pueda vincularse a una causa identificable y corregible; y ser periódico, con una frecuencia de medición adecuada al ritmo de cambio del proceso. La selección incorrecta de KPIs (midiendo lo que es fácil de medir en lugar de lo que importa) es una de las causas más frecuentes de fracaso en proyectos de mejora continua.

En la fase de Control del ciclo DMAIC, los KPIs se integran en un Control Plan que define para cada indicador el valor objetivo, el umbral de alerta, la frecuencia de medición y el responsable de la acción correctiva en caso de desviación. Este instrumento permite al responsable del departamento monitorizar el funcionamiento del sistema de forma continua y con un esfuerzo mínimo.

Para el departamento Mechanical Equipment, los KPIs relevantes se organizan en torno a tres dimensiones: eficiencia del proceso, con indicadores como el tiempo promedio de revisión por tipo de proyecto y la tasa de retrabajo; desarrollo del junior, con indicadores como el número de tareas completadas de forma autónoma y la evolución de la brecha de competencias trimestral; y estabilidad operativa, con indicadores como las horas extras del Líder y el número de proyectos con retraso en revisión. El seguimiento periódico de estos indicadores permitirá evaluar el impacto real del modelo de optimización propuesto.

Dimensión	KPI	Definición / cálculo	Frecuencia	Responsable
Eficiencia del proceso	Tiempo medio de revisión por tipo de proyecto	Min de revisión del senior por proyecto, por tipología	Mensual	Jefe de dpto.
	Tasa de retrabajo	% de proyectos con correcciones tras revisión	Mensual	Jefe de dpto.
Desarrollo del junior	Tareas completadas de forma autónoma	% de proyectos cerrados por el junior sin corrección	Trimestral	Jefe de dpto.
	Brecha de competencias	Evaluación de competencias vs. perfil objetivo	Trimestral	Jefe de dpto.
Estabilidad operativa	Horas extra del senior	Horas extra del perfil senior	Semanal	Jefe de dpto.
	Proyectos con retraso en revisión	Nº de proyectos que superan el plazo objetivo	Semanal	Jefe de dpto.

Tabla 2: Ejemplo de tabla de control de KPI

3.11 Síntesis del marco teórico

El conjunto de herramientas y conceptos presentados en este capítulo constituye el fundamento teórico sobre el que se construye la propuesta de optimización del departamento Mechanical Equipment de DOP Engineering. Cada herramienta responde a una dimensión específica del problema identificado y tiene una aplicación directa en alguno de los capítulos del trabajo.

La metodología DMAIC estructura el conjunto del proyecto e impide que las intervenciones de mejora se diseñen antes de que el problema esté suficientemente comprendido. El VSM y las métricas Lean cuantifican la brecha entre el estado actual y el estado deseado del flujo de trabajo. La Teoría de las Restricciones identifica el punto exacto donde actuar para obtener el mayor impacto posible. La estandarización de procesos y las matrices de competencias operativizan la intervención sobre las causas raíz. Y el sistema de KPIs garantiza que los resultados sean medibles y que las mejoras se sostengan una vez finalizado el proyecto.

Este marco teórico demuestra que el problema del departamento Mechanical Equipment es un patrón reconocible en la literatura de gestión de operaciones: la concentración del conocimiento crítico en un perfil Líder, combinada con la ausencia de mecanismos formales de estandarización y desarrollo, genera sistemas frágiles ante variaciones en la demanda. Las herramientas del DMAIC, aplicadas en la secuencia correcta, ofrecen un camino estructurado para diagnosticar esta situación, diseñar soluciones y verificar su efectividad en el contexto específico de la ingeniería delegada.

Capítulo 4: Diagnóstico de la situación actual

4.1 Descripción del proceso operativo actual

Para el análisis del proceso operativo del departamento Mechanical Equipment se ha empleado el Value Stream Map (VSM), herramienta de la fase Measure del ciclo DMAIC que permite representar el flujo de trabajo, identificar los actores implicados en cada etapa y distinguir las actividades que añaden valor de aquellas que no lo hacen. La elaboración del VSM se apoya en el Engineering Workflow del departamento (P-ENG-Workflow-V1.0, 2025), que formaliza el proceso general de ingeniería de la empresa, adaptado al flujo específico del departamento Mechanical Equipment.

El VSM se ha elaborado tomando como caso representativo un proyecto de soporte de ductos HVAC en techo (HVAC Duct Stands), por ser el tipo de proyecto más frecuente y el que mejor ilustra las dinámicas operativas habituales del departamento. El flujo identificado comprende ocho etapas: asignación del proyecto por el Project Manager tras la aprobación del cliente; revisión de alcance y kick-off a cargo del ingeniero Líder y el junior; elaboración de cálculos y dibujos preliminares por parte del junior; primera revisión interna a cargo del ingeniero Líder antes del envío al cliente (Puerta 1); revisión por parte del cliente; elaboración de la memoria de cálculos formal por el junior; segunda revisión interna del ingeniero Líder antes de la firma (Puerta 2); y firma por el PE con entrega administrativa de los entregables.

De estas ocho etapas, seis son ejecutadas íntegramente o en su mayor parte por el junior, utilizando RISA 3D y hojas de Excel para los cálculos estructurales y AutoCAD para la producción de los planos. Las dos etapas restantes (Puerta 1 y Puerta 2) requieren obligatoriamente la participación del ingeniero Líder con independencia del nivel de dificultad del proyecto. Esta asimetría entre la distribución de la carga de trabajo y la distribución de la capacidad de revisión constituye el origen del desequilibrio operativo identificado.

Respecto al enfoque de revisión en Puerta 1, el criterio operativo actual consiste en verificar que los perfiles estructurales seleccionados son técnicamente correctos y que el plano tiene coherencia general en cuanto a detalles, conexiones y cumplimiento de los requerimientos del cliente. En esta fase se envía un borrador al cliente; la revisión final detallada de todos los aspectos menores se realiza en Puerta 2, antes de la firma. Esta distinción entre revisión funcional y revisión formal es un mecanismo implícito de gestión de la carga del Líder que, sin embargo, no está documentado ni es conocido de forma explícita por todos los actores del proceso.

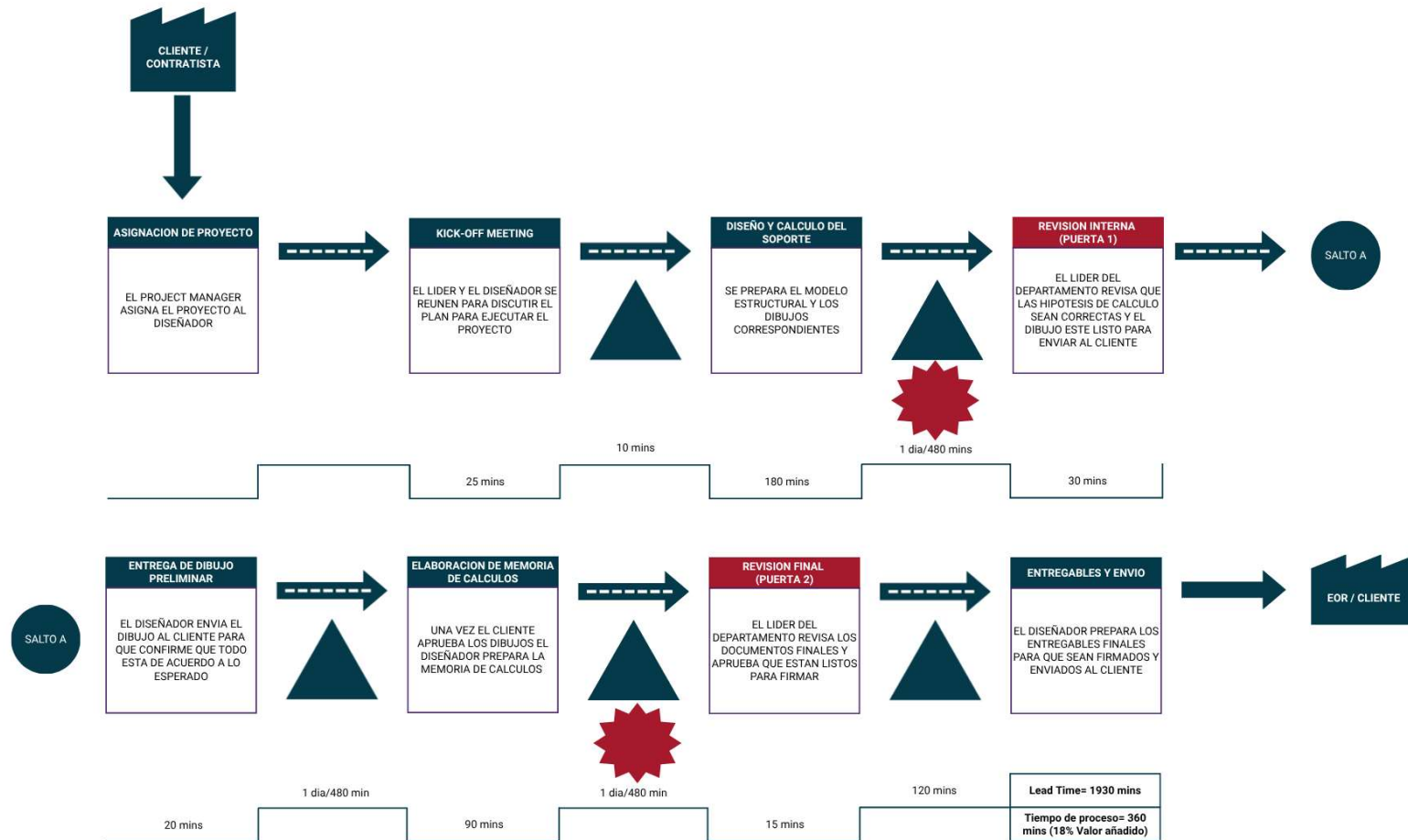


Figura 11: Value Stream Map proyectos de tipo HVAC Duct Stands

4.2 Análisis de la capacidad operativa disponible

El departamento Mechanical Equipment está integrado por tres personas: el ingeniero Líder y responsable del departamento, un ingeniero junior incorporado en noviembre de 2025, un ingeniero de nivel medio incorporado en 2024 y la posibilidad de recurrir puntualmente a ingenieros junior de otros departamentos ante incrementos puntuales de demanda. La jornada laboral es de 40 horas semanales por persona; no obstante, el tiempo efectivamente dedicado al departamento es inferior dado que una parte de la carga de trabajo corresponde al área de Metals & Wood a la cual se presta un apoyo recurrente.

El ingeniero Líder destina aproximadamente 15 horas semanales al departamento Mechanical Equipment, distribuidas en 12 horas de trabajo técnico directo y entre 3 y 4 horas de revisión, asesoramiento y coordinación con el equipo. Esta distribución implica que la capacidad de revisión disponible (el recurso que actúa como restricción del sistema) es de entre el 20% y el 27% de las horas que el Líder dedica al departamento.

Con una media de 4 proyectos activos simultáneos y una duración promedio de entre 3 y 8 horas por proyecto según el tipo, la demanda técnica semanal total varía entre 15 y 40 horas. El trabajo técnico directo del Líder aporta 12 horas a esa demanda; el resto es producido por el junior. En condiciones de carga moderada, este reparto es funcional. El desequilibrio se materializa al analizar la demanda de revisión.

Cada proyecto activa dos revisiones obligatorias del Líder: la Puerta 1, con una duración estimada de 30 minutos, y la Puerta 2, con aproximadamente 15 minutos, para un total de 45 minutos por proyecto. Con 5 proyectos activos simultáneos, la demanda de revisión asciende a aproximadamente 3,75 horas semanales, frente a las 3-4 horas disponibles, dando lugar a que en semanas de alta operación o donde múltiples proyectos alcanzan simultáneamente sus puertas de revisión se produce un déficit de la cantidad de horas disponibles para revisión.

4.3 Clasificación y análisis de los tipos de proyecto

El departamento Mechanical Equipment gestiona siete tipos de proyecto diferenciados, que se han identificado y caracterizado a partir de los registros operativos del departamento y de la experiencia acumulada del equipo. Para cada tipo se han recogido tres variables: las horas promedio de trabajo técnico necesarias para completar el proyecto, las horas de retrabajo habituales generadas por comentarios del EOR o del cliente que requieren modificaciones tras la primera entrega, y las horas facturadas al cliente como tarifa estándar, que permiten comparar el consumo real de capacidad con el valor generado.

Tipo de proyecto	Horas promedio	Horas retrabajo	Horas facturadas
Mechanical-Roof-Enclosure	8,0 h	1,25 h	10,0 h
HVAC-Duct-Stands	6,0 h	0,75 h	7,0 h
Chiller-Pipe-Stands	4,0 h	0,75 h	6,0 h
HVAC-Units-Stands	3,0 h	0,25 h	4,0 h
Curb-Attachment	4,0 h	0,50 h	5,0 h
Cable-Tie-Downs	4,0 h	0,50 h	5,0 h
Residential-Generator-Stands	1,5 h	0,00 h	2,0 h

Tabla 3: Horas de trabajo estimadas por tipo de proyecto

Los datos recogidos en la tabla permiten identificar patrones relevantes para la gestión operativa del departamento. Los Mechanical Roof Enclosures presentan el mayor consumo de horas técnicas (8 horas promedio) y generan retrabajo de 1,25 horas, lo que los sitúa como los proyectos de mayor carga sobre el equipo, aunque también los de mayor valor facturado (10 horas). Los proyectos de HVAC Duct Stands, Chiller Pipe Stands, Curb Attachment y Cable Tie-Downs presentan un consumo de horas similar (entre 4 y 6 horas), con niveles de retrabajo comparables.

El caso más relevante desde el punto de vista de la estandarización es el de los Residential Generator Stands. Con 1.5 horas de promedio y sin retrabajo habitual, son los proyectos que menor carga generan sobre el equipo. Esto se debe directamente a la existencia de un plan maestro que estandariza el proceso: el plano base cubre todas las configuraciones recurrentes y únicamente requiere modificar la dirección del proyecto antes de la firma. El resultado es que el tiempo de revisión del Líder en estos proyectos es nulo, eliminando prácticamente el cuello de botella. Este caso constituye el antecedente interno de estandarización sobre el que se fundamenta la propuesta de mejora del Capítulo 5.

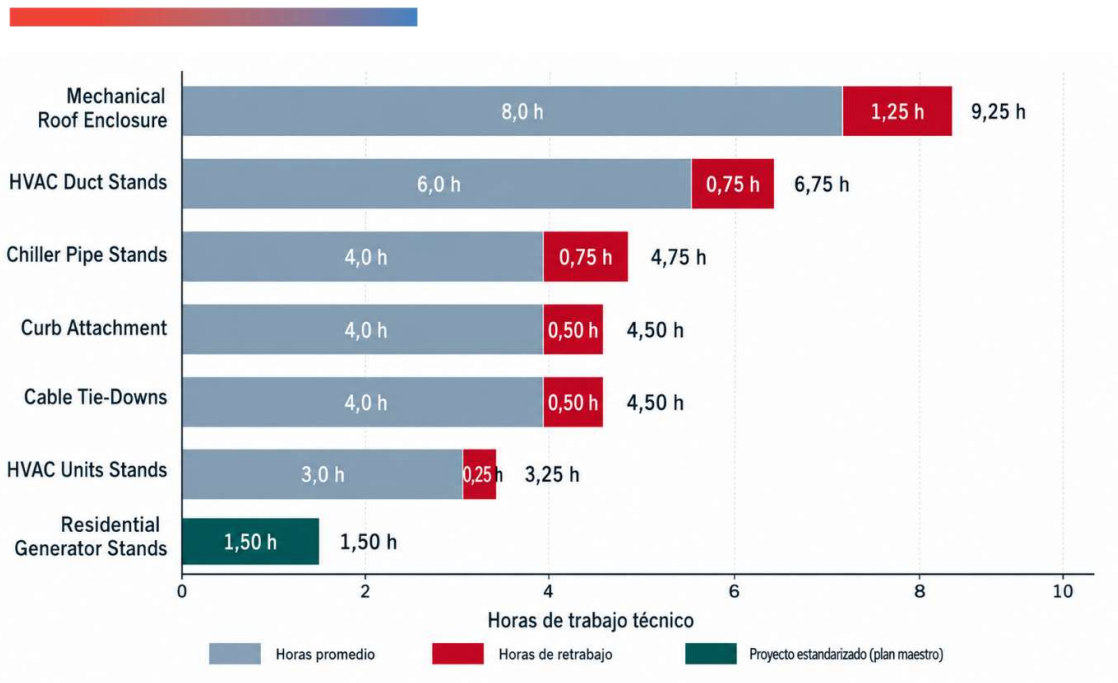


Figura 12: Carga de trabajo por tipo de proyecto

4.4 Matriz de competencias técnicas del departamento

Con el objeto de determinar la distribución actual del conocimiento técnico en el equipo y cuantificar la brecha de autonomía del junior, se ha elaborado la matriz de competencias técnicas del departamento Mechanical Equipment. La matriz recoge las once competencias clave identificadas para el puesto de design engineer en el contexto del departamento, evaluadas para el ingeniero Líder y el junior con una escala de cuatro niveles: Autónomo (puede realizar la tarea sin supervisión, Verde), Funcional (puede realizarla con supervisión puntual o mínima, Amarillo), En desarrollo (puede realizarla con supervisión constante, Naranja) y No apto (no puede realizar la tarea de forma independiente, Rojo).

Los datos de la matriz se han obtenido a partir de la evaluación directa del responsable del departamento, basada en la observación del desempeño de los diseñadores durante el tiempo transcurrido desde su incorporación al equipo. La columna de nivel requerido indica el nivel de dominio necesario para que el junior pueda operar con autonomía suficiente en la etapa de revisión, reduciendo la carga del Líder en las puertas críticas.

El análisis de la matriz revela un patrón claro: el junior presenta un nivel de dominio adecuado en las competencias de ejecución técnica (lectura de planos estructurales, dimensionamiento de perfiles, redacción de la memoria de cálculos y gestión en Striven), pero muestra brechas significativas en las competencias de decisión y coordinación externa. Las tareas de interpretar y resolver comentarios del EOR, así como la evaluación de la complejidad de un proyecto, son precisamente las que el junior no puede realizar de forma autónoma o solo con supervisión constante.

Estas tres competencias son exactamente las que intervienen en los momentos más críticos del flujo de trabajo: la evaluación inicial del alcance (que determina si el Líder debe hacer el kick-off), la resolución de comentarios del EOR entre Puerta 1 y Puerta 2, y la preparación correcta del paquete final antes de Puerta 2. La brecha en estas competencias explica por qué la carga

del Líder en las puertas de revisión es elevada incluso en proyectos técnicamente sencillos: el junior tiene la capacidad de producir el entregable, pero no de validar de forma autónoma si cumple los criterios implícitos que el Líder aplicaría al revisarlo.

Competencia	Ingeniero Junior	Ingeniero Medio	Autonomía Requerida
1) Leer e interpretar planos estructurales del techo			
2) Leer e interpretar planos de ductería y MEP			
3) Seleccionar el tipo de soporte adecuado al proyecto			
4) Calcular cargas sobre el soporte			
5) Dimensionar perfiles estructurales			
6) Redactar la memoria de cálculos			
7) Producir dibujos en AutoCAD			
8) Interpretar comentarios del EOR			
9) Resolver comentarios del EOR de forma autónoma			
10) Evaluar si un proyecto es estándar o complejo			
11) Gestionar el estado del proyecto en el CRM			

Tabla 4: Matriz de competencias técnicas del departamento.

4.5 Análisis de cuellos de botella y causas raíz

El VSM elaborado en la sección 4.1 evidencia que la capacidad de entrega del

departamento no está limitada por el número de horas disponibles en el equipo, sino por la disponibilidad del ingeniero Líder en las dos puertas de revisión obligatorias. Ningún entregable puede salir del departamento sin su intervención en Puerta 1 y Puerta 2, con independencia del nivel de dificultad del proyecto o del grado de avance del junior.

Aplicando el marco de la Teoría de las Restricciones, el Líder actúa como cuello de botella del sistema en su función de revisor. La situación se agrava cuando varios proyectos alcanzan simultáneamente alguna de las dos puertas, generando una cola de revisiones pendientes que el Líder debe resolver en un tiempo que ya está estructuralmente comprometido. La excepción son los Residential Generator Stands, cuyo plan maestro reduce el tiempo de revisión a una comprobación mínima, confirmando que la causa del cuello de botella no es la complejidad técnica intrínseca del trabajo, sino la ausencia de criterios y procesos formalizados que reduzcan la dependencia del juicio del Líder.

Para identificar con precisión las causas raíz de este cuello de botella, se ha aplicado el diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto, herramienta de la fase Analyze del ciclo DMAIC que organiza las causas contribuyentes al problema en categorías estructuradas. El efecto analizado es la concentración estructural de la función de validación en el ingeniero Líder. El análisis identifica cuatro familias de causas.

En la categoría de Mano de obra, el junior no dispone de criterios de autocorrección previos a la revisión del Líder. La ausencia de una lista de verificación estructurada implica que los entregables llegan a las puertas de revisión sin haber pasado por ningún filtro formal, incrementando el tiempo de revisión del Líder y la frecuencia de ciclos de corrección. En la categoría de Métodos, seis de los siete tipos de proyecto recurrentes carecen de procedimientos estandarizados. Cada proyecto requiere que el junior interprete el alcance con apoyo del Líder, dado que no existen plantillas, criterios documentados ni referencias previas accesibles; la única excepción, el plan maestro de generadores, confirma que la ausencia de estandarización es una causa corregible.

En la categoría de Gestión, la supresión de las reuniones de kick-off en proyectos estándar traslada la carga de interpretación del alcance al momento de la revisión interna. Adicionalmente, la ausencia de criterios formales de priorización obliga a gestionar los proyectos concurrentes de forma reactiva, basándose en la urgencia percibida en cada momento. Finalmente, en la categoría de Medición, los datos de horas por proyecto registrados en Striven no se analizan de forma sistemática, lo que impide anticipar semanas de saturación y tomar decisiones de asignación con antelación.

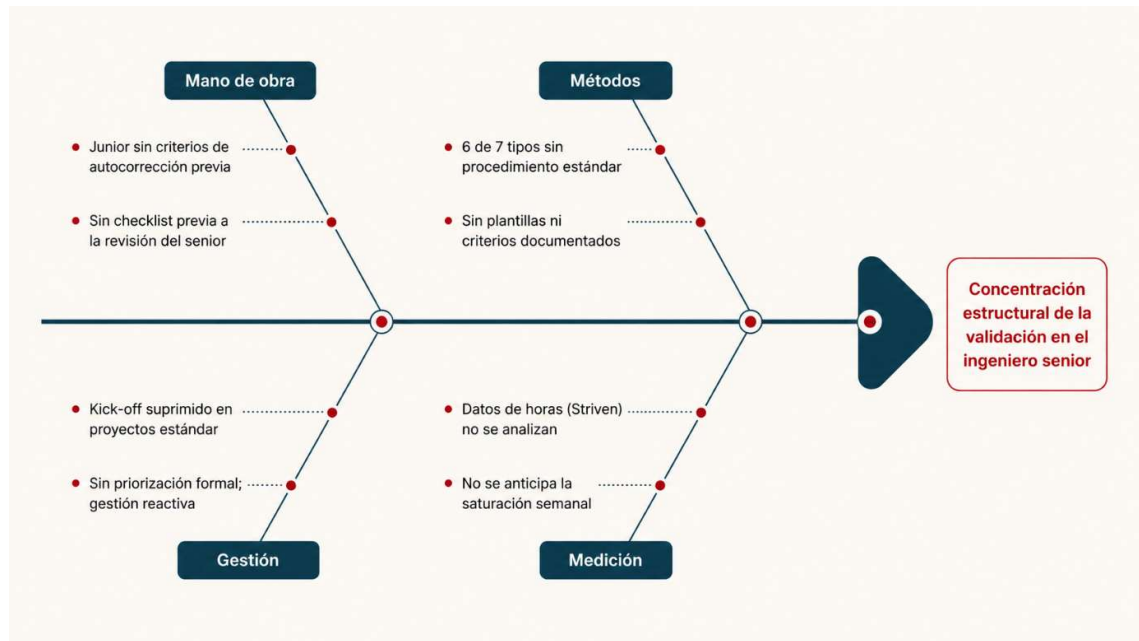


Figura 13: Diagrama de Ishikawa de la concentración de la validación en el Líder.

4.6 Síntesis del diagnóstico

El diagnóstico del departamento Mechanical Equipment, desarrollado a través de las herramientas de las fases Define, Measure y Analyze del ciclo DMAIC, permite responder con precisión a la pregunta motriz del presente trabajo: ¿cómo puede un departamento de ingeniería estructural integrado por un equipo reducido organizar su funcionamiento de manera que reduzca la dependencia de personas clave, gestione de forma más eficiente su capacidad y mantenga un desempeño estable ante cambios en la demanda?

La respuesta que surge del diagnóstico es que el departamento opera hoy bajo un modelo funcional en condiciones normales, pero estructuralmente frágil ante la variabilidad. El junior tiene capacidad técnica de ejecución suficiente para producir los entregables de la mayoría de tipos de proyecto, pero no dispone de los criterios, procedimientos ni herramientas que le permitirían prepararlos con una calidad suficiente para reducir el tiempo de revisión del Líder en las puertas críticas. El conocimiento que hace falta en esos momentos, cómo evaluar si un proyecto es estándar o complejo, cómo interpretar y resolver los comentarios del EOR, qué verificar antes de dar el trabajo por completado, es conocimiento tácito que el Líder aplica de forma implícita y que no está documentado en ninguna parte.

El plan maestro de Residential Generator Stands demuestra que este modelo de funcionamiento es reversible. Cuando el conocimiento implícito del Líder se externaliza en una herramienta estructurada, la revisión en Puerta 1 deja de ser un cuello de botella para ese tipo de proyecto. La propuesta de optimización presentada en el Capítulo 5 traslada esta lógica al resto de los tipos de proyecto del departamento, combinando la estandarización de procesos con el desarrollo estructurado de las competencias del junior, con el objetivo de reducir progresivamente la carga de las puertas de revisión y ampliar la capacidad operativa efectiva del departamento sin añadir recursos.

Capítulo 5: Propuesta de optimización

El diagnóstico desarrollado en el capítulo anterior identifica tres causas raíz sobre las que actuar para reducir la dependencia del ingeniero Líder en las puertas de revisión y ampliar la capacidad operativa efectiva del departamento. La propuesta de optimización se articula en torno a tres líneas de actuación que responden directamente a esas causas: el diseño de un plan de desarrollo técnico para el ingeniero junior, la estandarización de los procesos técnicos mediante procedimientos y herramientas de autorevisión, y la formalización de los criterios de priorización operativa. Cada una de estas líneas aborda una dimensión diferente del problema y, en conjunto, constituyen el modelo de optimización que se aplicará en el piloto descrito en el capítulo seis.

5.1 Plan de desarrollo técnico del junior

El plan de desarrollo técnico tiene como objetivo reducir la brecha de competencias identificada en la sección 4.4 de forma progresiva y estructurada a lo largo de doce meses. El punto de partida es la matriz de competencias elaborada a partir de la situación del equipo en marzo de 2026, que muestra un perfil técnicamente competente en las tareas de ejecución (lectura de planos estructurales, dimensionamiento de perfiles, redacción de la memoria de cálculos y gestión en Striven) pero con brechas significativas en las competencias de decisión y coordinación externa, concretamente en la interpretación y resolución de comentarios del EOR y en la evaluación de la complejidad de los proyectos entrantes.

El plan se estructura en cuatro trimestres con objetivos, actividades y criterios de evaluación diferenciados. El criterio de avance de un trimestre al siguiente no es automático: el paso al siguiente bloque de competencias se produce únicamente cuando el junior ha demostrado consistencia en el nivel anterior durante al menos tres proyectos consecutivos sin regresiones. Esto evita que el plan avance sobre competencias que aún no están consolidadas.

Un hallazgo relevante del diagnóstico es que los comentarios más frecuentes del Líder en la Puerta 1 no son de naturaleza técnica, sino de formato: nomenclatura del proyecto incorrecta, escalas de los detalles mal aplicadas y errores ortográficos. Este dato indica que una parte significativa de la carga de revisión actual en Puerta 1 puede eliminarse a corto plazo sin necesidad de desarrollar competencias técnicas avanzadas, simplemente mediante la implementación de una lista de verificación de autorevisión que el junior complete antes de cada entrega. Por este motivo, la implementación del checklist es la primera acción del plan y la de mayor impacto inmediato sobre la eficiencia del proceso.

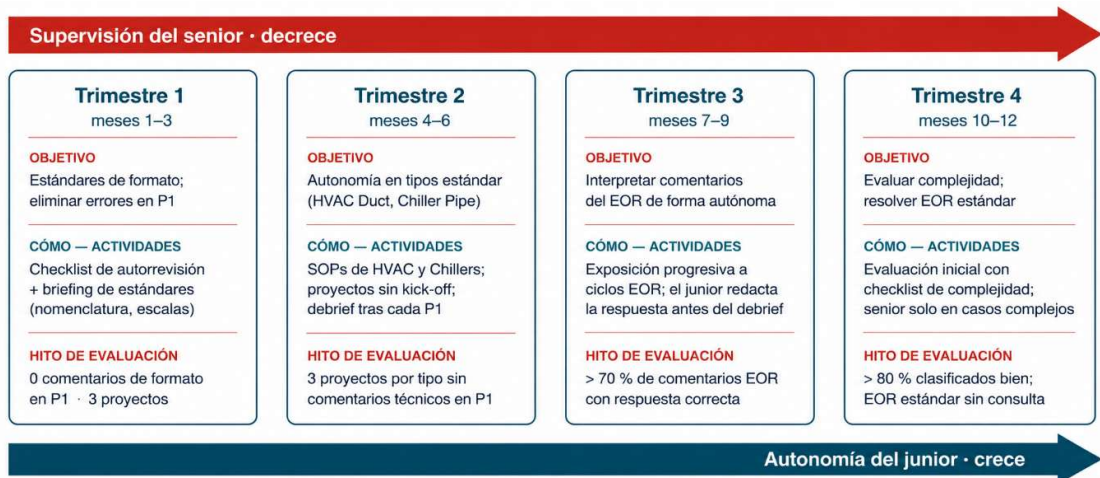


Figura 14: Plan de desarrollo de capacidad a doce meses



Figura 15: Línea de tiempo de la progresión esperada del junior

El mecanismo de seguimiento del plan se articula en dos niveles. A nivel mensual, el Líder y el junior mantienen un check-in informal de cinco a diez minutos para identificar bloqueos, dudas recurrentes o situaciones no cubiertas por los SOPs. (Standard Operation Procedure) A nivel trimestral, el Líder actualiza la matriz de competencias con las puntuaciones actualizadas del junior y evalúa si se han cumplido los criterios de avance. El resultado de esta evaluación trimestral determina si el plan continúa en el trimestre previsto, se adelanta o se refuerza en alguna competencia específica antes de avanzar.

El responsable de la ejecución y seguimiento del plan es el propio Mechanical Equipment Leader, quien actúa como mentor del junior. La dirección del departamento (Engineering Manager) recibe el resultado de la evaluación trimestral como parte del seguimiento operativo del equipo. No se requiere infraestructura adicional para la ejecución del plan: todas las actividades se realizan dentro del flujo de trabajo habitual del departamento, aprovechando los proyectos reales como vehículo de aprendizaje.

5.2 Sistema de estandarización de procesos

La estandarización de procesos es la segunda línea de actuación de la propuesta de optimización y responde directamente a la causa raíz identificada en el análisis de Ishikawa: seis de los siete tipos de proyecto del departamento carecen de procedimientos documentados que permitan al junior preparar los entregables con criterios consistentes y verificables. En ausencia de esos criterios, cada proyecto requiere la interpretación implícita del Líder para saber qué es correcto, lo que se traduce en mayor carga en las puertas de revisión.

El sistema de estandarización propuesto tiene tres componentes: los procedimientos operativos estándar (SOPs) por tipo de proyecto, que documentan el proceso completo desde la recepción de la información del cliente hasta la entrega; la lista de verificación de autorevisión común a todos los tipos, que el junior completa antes de cada Puerta 1 y Puerta 2; y los criterios de clasificación de proyectos, que permiten al junior identificar si un proyecto es estándar o requiere consulta al Líder antes de comenzar. Los tres componentes se desarrollan a continuación.

5.2.1 Procedimiento operativo estándar: HVAC Duct Stands

El SOP de HVAC Duct Stands documenta el proceso estándar para el diseño estructural de soportes de ductos de ventilación en techo, el tipo de proyecto más frecuente del departamento. El procedimiento aplica a proyectos clasificados como estándar según los criterios definidos en el apartado 5.2.3.

Objeto y alcance.

Este procedimiento define el proceso de trabajo, los requisitos de entrada, la secuencia de tareas y los criterios de calidad aplicables al diseño estructural de soportes de ductos HVAC en techo para proyectos de tipología estándar en el departamento Mechanical Equipment de DOP Engineering.

Documentación de entrada requerida.

El proyecto no puede iniciarse hasta que se hayan recibido y verificado los siguientes documentos. Si alguno falta, el junior solicita la información al cliente a través del Project Manager antes de registrar el proyecto como en curso en Striven (CRM):

- Planos de ductería: layout completo con dimensiones de todos los ductos, peso por metro lineal y configuración del sistema.
- Planos estructurales del techo: tipo de estructura portante, capacidad disponible en los puntos de conexión y ubicación de vigas o elementos resistentes.
- Esquema del sistema: configuración del soporte que el cliente planea usar, incluyendo tipo de varilla, distancia entre soportes y orientación prevista.
- Consideraciones adicionales: cargas especiales no derivadas del sistema HVAC, restricciones de espacio, normativa local específica o cualquier condición particular del proyecto.

Secuencia de trabajo.

Una vez verificada la documentación de entrada, el junior ejecuta las siguientes etapas en el

orden indicado:

- Paso 1. Revisar los planos estructurales del techo e identificar los puntos de conexión disponibles y su posible viabilidad estructural.
- Paso 2. Revisar el esquema del sistema y confirmar que la configuración propuesta por el cliente es compatible con la estructura existente.
- Paso 3. Calcular las cargas sobre cada soporte según el peso del ducto (extraído de los planos de ductería) y las cargas de viento aplicables para la zona del proyecto.
- Paso 4. Seleccionar y verificar los perfiles estructurales para las cargas calculadas.
- Paso 5. Producir los dibujos en AutoCAD siguiendo el estándar de formato del departamento y basándose en la nueva plantilla preparada.
- Paso 6. Completar la lista de verificación de autorevisión antes de someter el trabajo a Puerta 1.

5.2.2 Lista de verificación de autorevisión

La lista de verificación de autorevisión es el instrumento central de la propuesta de estandarización. Su propósito es que el junior complete una revisión sistemática de su propio trabajo antes de someterlo a la Puerta 1 o Puerta 2 del Líder. La lista aplica a todos los tipos de proyecto del departamento y es la acción de mayor impacto inmediato sobre la eficiencia del proceso.

La lista se divide en dos momentos: la verificación previa a Puerta 1 (antes de enviar los dibujos al Líder para revisión) y la verificación previa a Puerta 2 (antes de someter el paquete final para revisión y firma).



Lista de verificación de autorrevisión

Departamento Mechanical Equipment ·

Proyecto: _____ Código Striven: _____
Junior: _____ Fecha: _____

VERIFICACIÓN PREVIA A PUERTA 1 · antes de enviar los dibujos al senior

Formato y documentación

- ☐ Nomenclatura del archivo correcta según el código de proyecto en Striven.
- ☐ Título del plano contiene el nombre completo del proyecto, sin abreviaciones.
- ☐ Sin errores ortográficos (revisado con corrector antes de exportar).
- ☐ Escalas de todos los detalles indicadas y correctas.
- ☐ Número de revisión correcto (Rev. 0 para primera entrega).

Contenido técnico

- ☐ Las cargas calculadas corresponden al peso y configuración descritos en los planos de ductería.
- ☐ El perfil seleccionado ha sido verificado según los códigos aplicables para las cargas calculadas.
- ☐ Los puntos de conexión del soporte coinciden con los puntos disponibles en la estructura del techo según los planos estructurales.
- ☐ La configuración del soporte en el plano coincide con el esquema enviado por el cliente.
- ☐ Las conexiones y detalles son coherentes entre sí y no presentan contradicciones.
- ☐ Todos los detalles necesarios para ejecutar el soporte en obra están incluidos en el plano.
- ☐ Las notas del plano son completas y no contienen referencias incompletas ni marcadores de posición.

VERIFICACIÓN PREVIA A PUERTA 2 · antes del paquete final para revisión y firma

- ☐ Todos los comentarios del cliente han sido incorporados en el plano, o documentados con justificación técnica si no se incorporan.
- ☐ La memoria de cálculos formal está completa, correctamente formateada y sus resultados son consistentes con los perfiles indicados en el plano.
- ☐ La versión final del plano refleja todos los cambios acordados con el cliente desde el envío del borrador.
- ☐ La revisión del plano y la memoria de cálculos están alineadas: no hay discrepancias entre los perfiles calculados y los dibujados.
- ☐ El número de revisión del plano es correcto y coincide con el registrado en Striven.

Figura 16: Lista de verificación de autorevisión

5.2.3 Criterios de clasificación: proyecto estándar vs. complejo

La evaluación de si un proyecto entrante es estándar o complejo es actualmente una de las competencias en las que el junior presenta mayor brecha (clasificada como 'no apto' en la matriz de competencias). Formalizar esta distinción mediante criterios documentados permite que el junior realice una primera evaluación autónoma y solo consulte al Líder cuando el

proyecto presenta alguna de las condiciones definidas como indicadoras de complejidad.

Un proyecto se clasifica como estándar cuando cumple todas las condiciones siguientes: la documentación de entrada está completa al recibirla; los ductos tienen dimensiones dentro de los rangos habituales del departamento; la estructura del techo es convencional (vigas de acero o concreto con capacidad verificable en los planos); la configuración del soporte solicitada por el cliente es compatible con los tipos de soporte trabajados previamente; y no existen cargas adicionales no asociadas directamente al sistema HVAC.

El proyecto se escala al Líder para evaluación antes de comenzar si presenta cualquiera de las condiciones siguientes:

- La documentación de entrada está incompleta o contiene contradicciones entre documentos.
- Los ductos presentan dimensiones o pesos fuera del rango habitual.
- La estructura del techo es no convencional (madera, concreto pretensado, cubierta metálica ligera) o la capacidad portante no puede determinarse con los planos disponibles.
- La configuración del soporte solicitada por el cliente no corresponde a ningún tipo trabajado previamente o implica elementos de diseño no cubiertos por el SOP.
- Hay cargas adicionales no derivadas del sistema HVAC (equipos sobre el soporte, plataformas, cargas sísmicas especiales).
- El proyecto está ubicado en una zona de viento de diseño especialmente exigente que requiere criterio adicional sobre los valores habituales del departamento.

Los mismos criterios de clasificación, adaptados a las características técnicas de cada tipo, se podrían aplicar a los proyectos de Chiller Pipe Stands, Mechanical Roof Enclosures, Curb Attachments y Cable Tie-Downs. Los Residential Generator Stands disponen de plan maestro propio y no requieren clasificación: el procedimiento está completamente definido.

5.3 Criterios formales de priorización operativa

La tercera línea de actuación de la propuesta formaliza los criterios de priorización que el Líder aplica actualmente de forma intuitiva cuando varios proyectos requieren su atención simultáneamente. La formalización no elimina el juicio del responsable, pero lo estructura mediante reglas explícitas que hacen la decisión predecible, transferible y menos dependiente de la presión del momento.

El diagnóstico reveló que el criterio de priorización actual del Líder sigue tres variables no documentadas: urgencia del plazo de entrega (primera consideración), simplicidad de la revisión (cuando no hay urgencias, se priorizan las revisiones más rápidas) y orden de llegada a revisión. La propuesta recoge estas tres variables, las organiza en una jerarquía formal y añade una cuarta variable para casos en que la urgencia no es suficiente para tomar la decisión.

5.3.1 Niveles de prioridad

Se definen cuatro niveles de prioridad para los proyectos que esperan revisión del Líder. La asignación de nivel se realiza en el momento en que el junior completa su trabajo y lo somete a Puerta 1 o Puerta 2, registrando el nivel en Striven junto con la fecha comprometida con el cliente.

Nivel	Condición	Tiempo máximo de atención	Acción si no es posible
P1 Urgente	Entrega al cliente hoy o mañana, o el cliente espera respuesta activa.	Mismo día, antes del cierre de jornada.	El senior gestiona directamente o negocia una extensión con el cliente.
P2 Prioritario	Entrega en los próximos 3 días hábiles, o proyecto complejo que puede requerir varios ciclos de revisión.	En las siguientes 24 h hábiles.	Informa al Engineering Manager si no puede cubrirlo en plazo.
P3 Estándar	Entrega entre 4 y 7 días hábiles. Tipología estándar, con un único ciclo de revisión esperado.	En las siguientes 48 h hábiles.	Se gestiona dentro del flujo normal de la semana.
P4 Diferible	Entrega superior a 7 días hábiles.	Antes del fin de la semana en curso.	Sin acción inmediata requerida.

Tabla 5: Criterios de priorización y acciones correctivas.

5.3.2 Reglas de decisión dentro del mismo nivel

Cuando varios proyectos se encuentran en el mismo nivel de prioridad, se aplican las siguientes reglas de desempate en el orden indicado:

Revisar primero la revisión de menor duración estimada. Una revisión corta libera al Líder antes y reduce el tiempo de espera del resto de proyectos en cola. Este criterio refleja el comportamiento actual del Líder y se formaliza como primera regla de desempate.

Segunda regla: si las duraciones son similares, revisar en orden de llegada a la cola de revisión (el primero en someter su trabajo es el primero en ser revisado). Este criterio garantiza equidad en el proceso y elimina la percepción de arbitrariedad.

Tercera regla de alerta: si en algún momento hay tres o más proyectos en nivel P1 o P2 de forma simultánea, el Líder lo comunica al Project Manager para que evalúe si se requiere soporte de otro departamento o una renegociación de plazos con algún cliente. Esta regla convierte una situación de sobrecarga de revisión en una señal de gestión visible para la organización, en lugar de ser absorbida silenciosamente mediante horas extras del Líder.

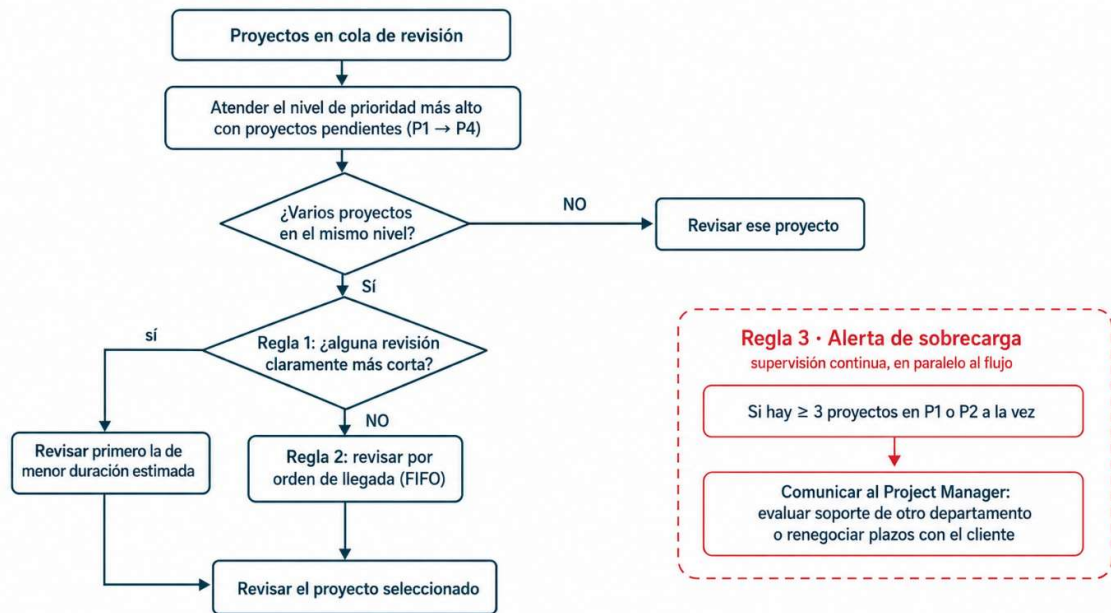


Figura 17: Diagrama de flujo de priorización de revisiones.

5.4 Integración de las tres líneas de actuación

Las tres líneas de actuación descritas en este capítulo no son iniciativas independientes: están diseñadas para actuar de forma coordinada sobre el mismo problema. El plan de desarrollo, el sistema de estandarización y los criterios de priorización atacan cada uno una dimensión diferente de las causas raíz identificadas en el diagnóstico y se refuerzan mutuamente en su efecto sobre la capacidad operativa del departamento.

Los SOPs y el checklist de autorevisión actúan sobre la causa de métodos: eliminan la dependencia del juicio implícito del Líder para determinar qué es un entregable correcto, haciendo explícitos y verificables los criterios que hoy solo existen en la cabeza del responsable. Su efecto directo es reducir el tiempo de revisión en Puerta 1, al llegar los entregables con los errores de formato ya eliminados y con los criterios técnicos básicos ya verificados por el junior. Este es el efecto de mayor impacto a corto plazo.

El plan de desarrollo actúa sobre la causa de mano de obra: desarrolla progresivamente las competencias que el junior necesita para operar con mayor autonomía en las etapas más exigentes del proceso, especialmente en la interpretación y resolución de comentarios del EOR y en la evaluación de la complejidad de los proyectos entrantes. Su efecto es diferido en el tiempo, pero estructuralmente más profundo: a medida que el junior adquiere estas competencias, la necesidad de intervención del Líder en cada proyecto disminuye de forma sostenida.

Los criterios de priorización actúan sobre la causa de gestión: transforman las decisiones reactivas de asignación de atención del Líder en un proceso ordenado y predecible. Su efecto no es reducir la demanda de revisión, sino distribuirla de forma más eficiente dentro de la capacidad disponible, y hacer visible el déficit cuando este supera un umbral tolerable.

El efecto combinado esperado de las tres líneas puede cuantificarse en términos del déficit de

capacidad de revisión identificado en el diagnóstico. Actualmente, la demanda de revisión con cinco proyectos simultáneos asciende a aproximadamente 3,75 horas semanales frente a 3-4 horas disponibles. La implementación del checklist de autorevisión, al eliminar los errores de formato que hoy generan ciclos de corrección innecesarios, se estima que puede reducir el tiempo promedio de revisión en Puerta 1 en entre 10 y 15 minutos por proyecto. A lo largo de cinco proyectos semanales, esto supone un ahorro de entre 50 y 75 minutos semanales. Con el avance del plan de desarrollo y la madurez de los SOPs en los primeros trimestres, se espera que este efecto se amplíe progresivamente. El piloto descrito en el capítulo siguiente permitirá medir el impacto real de estas medidas en condiciones operativas reales.

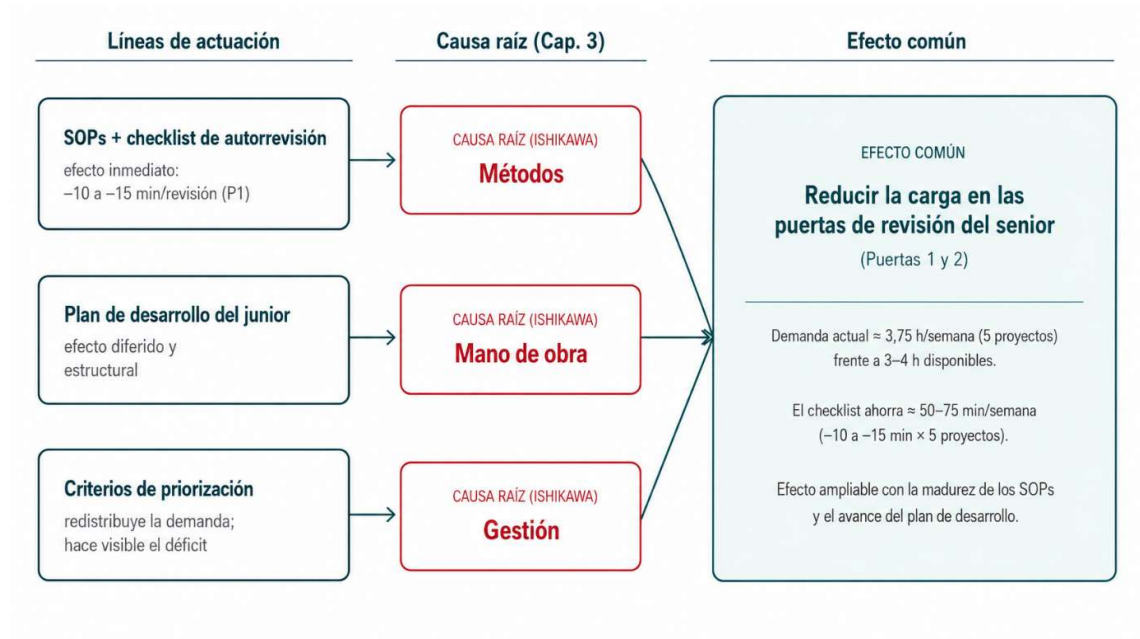


Figura 18: Integración de las 3 líneas de actuación

Capítulo 6 Plan de implantación y sistema de seguimiento

Este capítulo operacionaliza las medidas propuestas en el capítulo anterior. Primero define el diseño del piloto: su alcance, las fases de implementación semana a semana, los roles de cada participante, los mecanismos de ajuste durante la marcha y los riesgos previstos con sus planes de contingencia. A continuación, establece el sistema de indicadores de seguimiento (KPIs) que permitirá medir el impacto de las medidas, con el detalle de cómo se calcula cada indicador, quién lo registra, con qué frecuencia y qué umbrales activan una revisión del plan.

6.1 Diseño del piloto

6.1.1 Alcance, duración y lógica del piloto

El piloto tiene una duración de cuatro semanas y se aplica a la totalidad de los proyectos del tipo HVAC Duct Stands que entren al departamento Mechanical Equipment durante ese período. La muestra es el flujo real de trabajo del departamento, lo que garantiza que los resultados reflejen las condiciones operativas habituales y no una situación controlada artificialmente, si el piloto es validado de forma correcta abrirá las líneas de desarrollo para los demás tipos de proyectos genéricos del departamento.

El piloto implementa exclusivamente las medidas de efecto inmediato de la propuesta: la lista de verificación de autorevisión, el estándar de formato documentado, los criterios formales de priorización y la SOP desarrollada para los proyectos de HVAC Duct Stands. No se incorporan al piloto el despliegue completo de los SOPs por tipo de proyecto ni los objetivos de desarrollo avanzados del plan formativo del junior, cuyo horizonte de resultados medibles es trimestral. Esta delimitación responde a que el piloto mide lo que puede cambiar en cuatro semanas, para obtener evidencia cuantitativa antes de comprometer el plan de doce meses completo.

La lógica del piloto sigue la estructura de la fase Improve del ciclo DMAIC: se interviene sobre las causas raíz identificadas en el análisis, se mide el efecto de la intervención con indicadores previamente definidos y se compara el resultado con la línea base establecida antes del inicio. Si los resultados validan la hipótesis de mejora, el departamento procede con el despliegue del plan completo. Si algún indicador no alcanza el objetivo, los datos del piloto orientan los ajustes necesarios antes de escalar.

Fecha de inicio del piloto (Semana 0): 11/05/2026 fecha de cierre (fin Semana 4): 08/06/2026.

6.1.2 Fases de implementación

El piloto se divide en cinco fases: una semana de preparación previa (Semana 0) y cuatro semanas de operación activa. Cada fase tiene acciones específicas, responsables definidos y entregables concretos.

Semana 0 Preparación y línea base.

Esta semana no altera todavía el flujo de trabajo del departamento. Su propósito es preparar los instrumentos del piloto y registrar los valores de referencia del estado actual antes de que ninguna medida esté activa. Las acciones son las siguientes:

- Sesión de arranque (30 minutos, Líder con junior): presentación de la lista de

verificación de autorevisión, explicación del estándar de formato del departamento (nomenclatura de archivos, escalas de detalles, ortografía) y acuerdo sobre el procedimiento de registro durante el piloto. El junior recibe el checklist en formato digital.

- Registro de la línea base: el Líder anota los valores de referencia de los indicadores del piloto a partir de los tres proyectos revisados más recientemente antes del inicio. y quedan como punto de partida para la comparación.
- Configuración en Striven: el Líder activa el seguimiento de tiempo en las tareas de revisión de Puerta 1 y Puerta 2 para que las duraciones queden registradas automáticamente a partir de la Semana 1.
- Comunicación al Project Manager: el Líder informa al Project Manager del inicio del piloto, su duración y los indicadores que se medirán, para que esté al tanto de la iniciativa y pueda actuar en caso de que la regla de alerta de tres revisiones simultáneas en P1 o P2 se active durante el período.

Semana 1 Primera aplicación con seguimiento intensivo.

A partir del primer proyecto de la semana, el checklist es obligatorio antes de someter cualquier entregable a Puerta 1. El Líder verifica en cada revisión si el checklist fue completado y registra el número de comentarios de cada revisión en el formulario de seguimiento. El objetivo de esta semana no es cero errores, sino establecer el nuevo ritual de trabajo y detectar qué ítems del checklist no están suficientemente claros o no cubren situaciones reales del departamento.

- Si el Líder detecta que el junior sometió el trabajo sin completar el checklist, devuelve el entregable sin revisarlo y solicita que se complete primero. Esta regla es la que garantiza el uso sistemático del instrumento desde el primer día.
- El Líder aplica los criterios de priorización formales (P1 a P4) a todas las revisiones pendientes desde el inicio de la semana, registrando el nivel asignado en Striven junto con la fecha comprometida con el cliente.
- Al final de la semana, Líder y junior tienen un debrief de diez minutos: ¿qué ítems del checklist fueron útiles? ¿Hubo situaciones no cubiertas? ¿El junior tuvo dudas al usarlo? Este debrief no debe extenderse: su función es capturar ajustes concretos al instrumento, no analizar resultados.

Semana 2 Ajuste del instrumento y consolidación.

Con los datos de la primera semana, el Líder incorpora al checklist los ajustes identificados en el debrief: eliminar ítems irrelevantes, añadir los que faltaron, reformular los que generaron confusión. Esta versión ajustada del checklist (Versión 1.1) es la que se usa desde el primer proyecto de la Semana 2 hasta el final del piloto. A partir de esta semana el foco se desplaza de la adopción del instrumento a la calidad de su uso: el junior debe comenzar a completar el checklist de forma autónoma y no como un recordatorio externo.

- Si en la Semana 2 persisten errores del mismo tipo que en la Semana 1 a pesar del checklist, el Líder identifica si el problema es de comprensión del ítem (reformular) o de criterio técnico del junior (requiere debrief específico sobre ese tipo de error, que se

incorpora al plan de desarrollo).

- Debrief de fin de semana (10 minutos): ¿el número de comentarios está bajando? ¿Qué tipo de comentarios persisten? ¿Son de formato o técnicos?

Semana 3 Operación estabilizada.

En la tercera semana el departamento opera con el nuevo modelo de forma normalizada. El checklist es ya un hábito y no requiere recordatorios. El Líder puede reducir la intensidad del seguimiento respecto a las semanas anteriores y centrarse en observar si los patrones de mejora son consistentes entre proyectos y entre tipos de proyecto, o si hay tipos concretos donde los comentarios persisten más que en otros. Esta observación es valiosa para priorizar el despliegue de los SOPs en los meses siguientes al piloto.

- Debrief de fin de semana (10 minutos): ¿el checklist identifica todos los errores que el Líder encontraría? ¿Hay comentarios de Puerta 2 que podrían haberse detectado en Puerta 1 con un ítem adicional en el checklist?

Semana 4 Cierre y recopilación de datos.

La última semana del piloto opera de forma idéntica a las anteriores, pero al final se realiza la recopilación sistemática de todos los datos del período: promedios semanales de cada indicador, evolución semana a semana y versión final del checklist ajustado. El Líder extrae de Striven los datos de tiempo y calcula los promedios de los indicadores registrados manualmente. El resultado de esta recopilación es el insumo para el análisis de resultados que se realizará en la semana posterior al cierre del piloto.

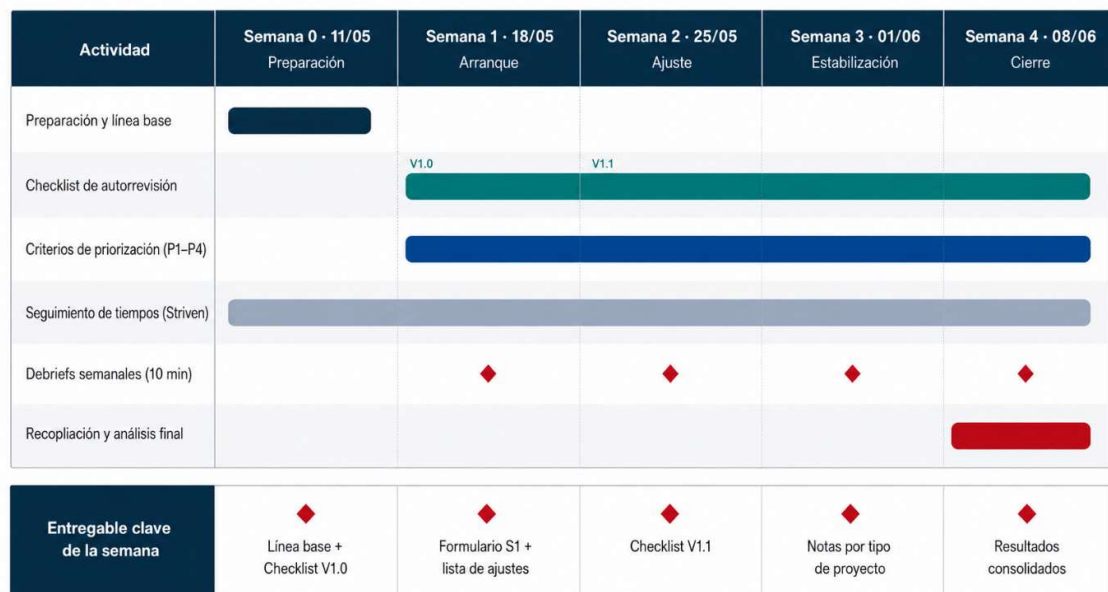


Figura 19: Cronograma del piloto de 4 semanas

6.1.3 Roles y responsabilidades en el piloto

Para que el piloto funcione, cada actor del departamento tiene responsabilidades

claramente definidas. La ambigüedad en los roles es una de las causas más frecuentes de que los pilotos de mejora no produzcan los datos que necesitan para ser evaluados.

Mechanical Equipment Leader (senior)	Design Engineer (junior)	Project Manager
• Completar el formulario de seguimiento semanal • Verificar el checklist antes de cada revisión • Registrar número y tipo de comentarios (P1 y P2) • Aplicar los criterios de priorización P1–P4 en Striven • Conducir el debrief semanal de 10 minutos • Ajustar el checklist en la Semana 2 • Extraer los datos de Striven al cierre del piloto	• Completar el checklist antes de cada P1 y P2, sin excepción • Entregar el checklist completado junto al trabajo • Participar en los debriefs semanales de 10 minutos • Comunicar cualquier situación que el checklist no cubra	• Estar informado del piloto y sus indicadores • Actuar si se activa la regla de alerta (≥ 3 revisiones simultáneas en P1 o P2) • Evaluar soporte de otro departamento o renegociar plazos con el cliente

Figura 20: Roles y responsabilidades durante el piloto

6.1.4 Riesgos del piloto y planes de contingencia

Todo piloto de mejora en un entorno operativo real está expuesto a factores que pueden distorsionar los resultados o dificultar su ejecución. La identificación anticipada de estos riesgos y sus planes de contingencia reduce la probabilidad de que el piloto se interrumpa o produzca datos no interpretables. Durante la elaboración del piloto se identificaron los siguientes riesgos:

1. El diseñador no utiliza el checklist de manera sistemática. Riesgo medio, probabilidad alta. El Líder deberá devolver cualquier entregable que no vaya acompañado del checklist. Esta regla no tiene excepción y elimina el riesgo si se aplica desde el primer día.
2. El volumen de proyectos es inusualmente alto o bajo. Riesgo medio, probabilidad media. El líder anotará el número de proyectos activos junto a los KPIs cada semana, si el volumen es atípico, se indica en el análisis de resultados y se pondera el efecto sobre los indicadores de carga.
3. Aparecen tipos de error no cubiertos por la versión original del checklist. Riesgo alto, probabilidad baja. El debrief de la semana 1 está diseñado específicamente para capturar estos casos y ajustarlos en la segunda versión del checklist. Es un resultado esperable y deseado del piloto.
4. El Líder no tiene tiempo para completar el formulario de seguimiento. Riesgo bajo, probabilidad alta. El formulario está diseñado para completarse en menos de cinco minutos por semana. Los datos de Striven se extraen en bloque al final de la semana por lo que no es necesario ir manualmente proyecto por proyecto.
5. Un cambio de cliente o una semana de muy baja demanda vacía la muestra. Riesgo bajo, probabilidad media. Si en alguna semana hay menos de dos proyectos revisados esa semana se excluye del cálculo del promedio y se extiende el piloto una semana adicional para completar la muestra.

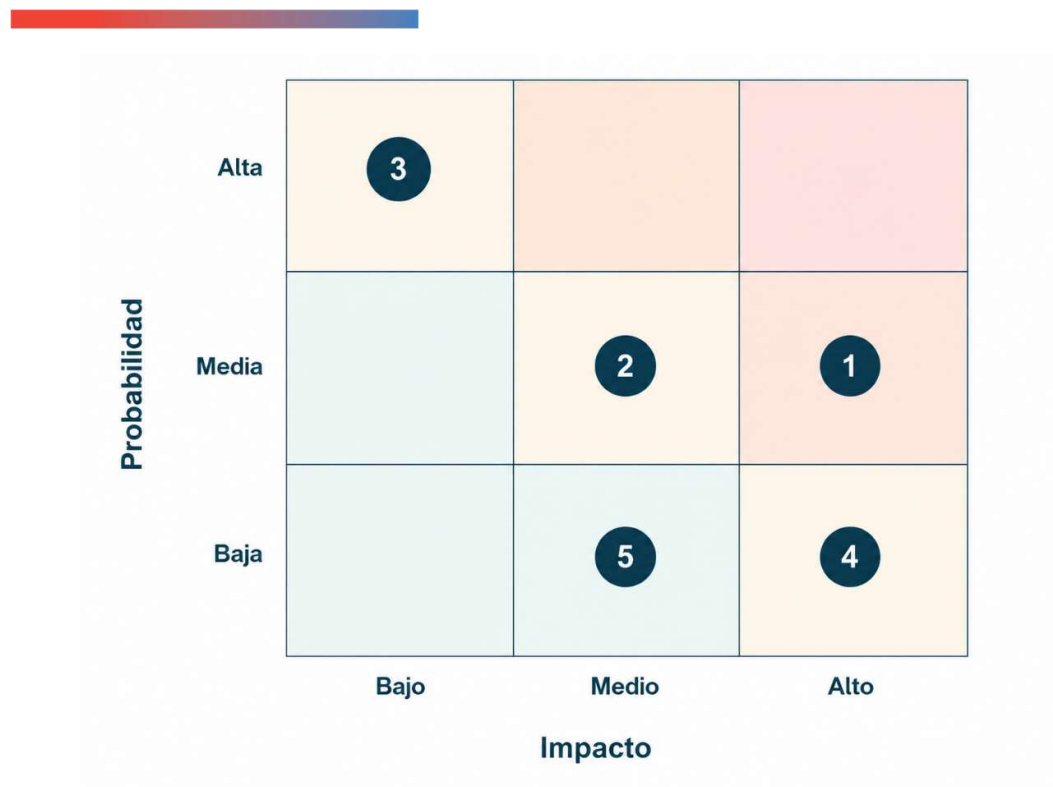


Figura 21: Matriz de riesgos del piloto.

Riesgo	Prob.	Impacto	Plan de contingencia
El junior no usa el checklist de forma sistemática.	Media	Alto	El senior devuelve sin revisar cualquier entregable sin checklist adjunto. Regla sin excepción desde el primer día.
El volumen de proyectos es inusualmente alto o bajo.	Media	Medio	Se anota el número de proyectos activos cada semana; si es atípico, se pondera su efecto en el análisis.
Aparecen tipos de error no cubiertos por el checklist V1.0.	Alta	Bajo	El debrief de la Semana 1 captura estos casos y los incorpora a la versión V1.1. Resultado esperado y deseable.
El senior no tiene tiempo para completar el formulario.	Baja	Alto	El formulario se completa en menos de 5 min/semana; los datos de Striven se extraen en bloque al final de la semana.
Un cambio de cliente o una semana de baja demanda vacía la muestra.	Baja	Medio	Si hay menos de 2 proyectos revisados en una semana, se excluye del promedio y se extiende el piloto una semana.

Tabla 6: Plan de mitigación de riesgos.

6.2 Sistema de indicadores de seguimiento

El sistema de indicadores de seguimiento tiene dos funciones. Durante el piloto, permite cuantificar el impacto de las medidas implementadas y compararlo con el estado de referencia anterior a la intervención. Después del piloto, los mismos indicadores se incorporan como herramientas de gestión permanente del departamento, formando el cuadro de mando operativo

que permite al responsable detectar desviaciones y actuar antes de que se conviertan en problemas.

Se definen cinco indicadores agrupados en dos categorías: indicadores de calidad de los entregables (que miden el efecto del checklist sobre la preparación de los paquetes antes de revisión) e indicadores de carga operativa (que miden el efecto combinado de las medidas sobre la eficiencia del Líder en las puertas de revisión y sobre su disponibilidad para trabajo técnico directo).

6.2.1 Indicadores de calidad de los entregables

- KPI 1 Número de comentarios de formato en Puerta 1.

Definición: número de comentarios realizados por el Líder en cada revisión de Puerta 1 que correspondan a errores de formato: nomenclatura incorrecta del archivo o del título del plano, escalas de detalles erróneas o ausentes, y errores ortográficos. Se registra por separado de los comentarios técnicos para distinguir el efecto del checklist del efecto del nivel técnico del junior.

Valor de referencia: 3 comentarios promedio por proyecto (estimación a partir de las revisiones recientes). De estos, la totalidad corresponde a errores de formato evitables mediante el checklist.

Objetivo al final del piloto: 0 comentarios de formato por proyecto.

Justificación del objetivo: dado que el checklist cubre específicamente los tres tipos de error de formato más frecuentes (nomenclatura, escalas, ortografía), el objetivo es la eliminación completa de estos comentarios. Si al final del piloto persiste algún comentario de formato, indica o bien que el ítem correspondiente no está suficientemente claro en el checklist, o bien que el junior no está completándolo con la atención requerida.

- KPI 2 Número total de comentarios en Puerta 1.

Definición: número total de comentarios (formato + técnicos) realizados por el Líder en cada revisión de Puerta 1. Este indicador es más amplio que el anterior y captura también la mejora técnica del junior a medida que incorpora los criterios del SOP de HVAC Duct Stands.

Valor de referencia: 3 comentarios promedio. Objetivo al final del piloto: ≤ 1 comentario por proyecto.

- KPI 3 Número total de comentarios en Puerta 2.

Definición: número de comentarios realizados por el Líder en cada revisión de Puerta 2, que corresponden principalmente a observaciones sobre la memoria de cálculos formal y la coherencia del paquete final.

Valor de referencia: 7 comentarios promedio por proyecto. El objetivo para el piloto es ≤ 5 comentarios por proyecto. Esta reducción es más moderada que la de Puerta 1 porque los comentarios de Puerta 2 son en su mayoría técnicos y su reducción depende del desarrollo de competencias del junior, que tiene un horizonte más largo que las cuatro semanas del piloto. La reducción esperada en este período corresponde únicamente a los errores de formato que

hoy también llegan a Puerta 2.

6.2.2 Indicadores de carga operativa del Líder

- KPI 4 Tiempo de espera hasta la revisión (lead time de revisión).

Definición: tiempo transcurrido desde que el junior marca el entregable como listo para revisión en Striven hasta que el Líder inicia la revisión. Este indicador refleja la eficiencia de la asignación de atención del Líder y el efecto de los criterios de priorización sobre la cola de revisiones pendientes.

Fórmula: Hora de inicio de la revisión por el Líder (Striven) – Hora en que el junior marca el entregable como listo (Striven).

Valor de referencia: 8 horas promedio Objetivo: ≤ 4 horas. La reducción se espera como consecuencia de los criterios de priorización, que eliminan la toma de decisión reactiva y reducen el tiempo que una revisión pasa sin ser atendida porque el Líder no tiene clara la secuencia.

- KPI 5 Duración real de la revisión.

Definición: tiempo que el Líder dedica activamente a revisar el entregable, excluyendo el tiempo de espera en cola. Este indicador mide la eficiencia del acto de revisión en sí, no la gestión de la cola.

Fórmula: Tiempo activo registrado por el Líder en la tarea de revisión en Striven.

Valor de referencia: 30 minutos por revisión de Puerta 1. Objetivo: ≤ 20 minutos. La reducción se espera porque los entregables llegarán con los errores de formato ya eliminados por el checklist, reduciendo la parte de la revisión dedicada a identificar y documentar esos errores.

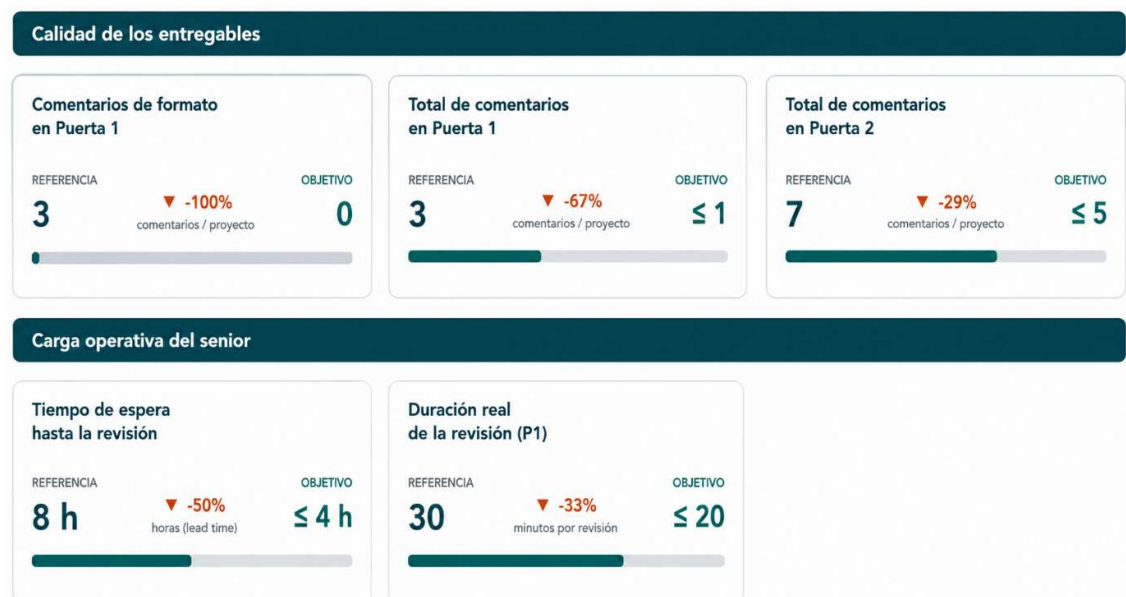


Tabla 7: Panel de indicadores de seguimiento del piloto.

6.2.3 Formulario de registro semanal

Para que el seguimiento del piloto no genere una carga adicional significativa sobre el Líder, el registro de datos se ha diseñado para completarse en menos de cinco minutos al final de cada semana. Los datos de Striven (tiempo de espera y duración de revisiones) se extraen en bloque desde la plataforma. El único dato que requiere registro activo durante la semana es el número de comentarios por revisión, que el Líder anota inmediatamente después de cada Puerta 1 y Puerta 2.

Campo	Cómo se registra	Cuándo
Semana número y fechas	Anotar al inicio del formulario.	Lunes de cada semana.
N.º de proyectos revisados en Puerta 1	Contar las revisiones completadas en la semana.	Fin de semana.
Comentarios de formato en Puerta 1 (total y promedio)	Suma de los registros post-revisión de la semana ÷ n.º de revisiones.	Fin de semana.
Total de comentarios en Puerta 1 (promedio)	Ídem anterior, incluyendo los comentarios técnicos.	Fin de semana.
Total de comentarios en Puerta 2 (promedio)	Suma de registros de Puerta 2 ÷ n.º de revisiones de Puerta 2.	Fin de semana.
Tiempo de espera hasta revisión (promedio)	Striven: diferencia entre la marca de entrega y la marca de inicio de revisión.	Fin de semana (Striven).
Duración real de la revisión (promedio)	Striven: tiempo activo registrado en las tareas de revisión.	Fin de semana (Striven).
Horas extra de la semana	Striven: horas totales del senior – 40 h.	Fin de semana (Striven).
¿Se usó el checklist en todos los proyectos?	Sí / No. Si «No», indicar cuántos proyectos lo omitieron y el motivo.	Verificar en cada Puerta 1.
Observaciones de la semana	Incidencias, tipos de error persistentes, ajustes al checklist, proyectos escalados.	Al completar el formulario.

Tabla 8: Tabla de registro semanal de KPIs

El formulario se mantiene en un documento compartido accesible para el Líder y el Project Manager. Su carácter es operativo: no es un informe formal, sino un registro de trabajo que permite reconstruir la evolución del piloto semana a semana y detectar tendencias o anomalías en tiempo real.



Formulario de registro semanal — Piloto Mechanical Equipment

Semana n.º: _____ Fechas: _____
Senior: _____ Registro: _____

INDICADORES DE LA SEMANA

Indicador	Valor de la semana	Fuente
N.º de proyectos revisados en Puerta 1		Recuento manual
Comentarios de formato en P1 (total / promedio)		Registro manual
Total de comentarios en P1 (promedio)		Registro manual
Total de comentarios en P2 (promedio)		Registro manual
Tiempo de espera hasta revisión (promedio, h)		Striven
Duración real de la revisión (promedio, min)		Striven
Horas extra de la semana (total – 40 h)		Striven

CONTROL DE USO DEL CHECKLIST

¿Se usó el checklist en todos los proyectos? ☐ Sí ☐ No

Sí «No» — proyectos que lo omitieron: _____ Motivo: _____

OBSERVACIONES DE LA SEMANA

Incidencias · tipos de error persistentes · ajustes al checklist · proyectos escalados

Figura 22: Plantilla del formulario de registro semanal de KPIs

6.2.4 Revisión semanal de indicadores y umbrales de alerta

El seguimiento de los indicadores no es puramente pasivo: se definen umbrales de alerta que, si se superan, activan una acción correctiva antes de que el problema se consolide. Esta es la aplicación del principio de la fase Control del ciclo DMAIC: los indicadores deben ser accionables, es decir, su desviación debe vincular con una respuesta concreta.

Indicador	Umbral de alerta	Acción si se supera el umbral
Comentarios de formato en Puerta 1	≥ 2 comentarios de formato la misma semana en más de un proyecto.	El senior identifica el ítem no cubierto por el checklist y lo añade en el ajuste de la Semana 2. Si persiste en la Semana 3, sesión de formación de 15 min sobre ese tipo de error.
Total de comentarios en Puerta 1	> 2 comentarios promedio en Semana 3 o 4.	Revisar si los comentarios son de formato (problema de checklist) o técnicos (problema de criterio). Si son técnicos, identificar el tipo de proyecto y priorizarlo en el SOP de la fase siguiente.
Comentarios en Puerta 2	> 7 comentarios promedio en cualquier semana (igual o peor que la referencia).	Analizar si son del mismo tipo que los de Puerta 1 no resueltos (checklist insuficiente) o errores técnicos nuevos. Documentar para el plan de desarrollo del junior.
Tiempo de espera hasta revisión	> 8 h promedio en Semana 3 o 4 (sin mejora respecto a la referencia).	Revisar si los criterios de priorización se aplican en Striven. Si no se usan: reforzar el hábito. Si se usan y no mejora: la causa puede ser la variabilidad de la demanda esa semana.

Tabla 9: Umbrales de alerta por indicador y acción correctiva

La revisión semanal de indicadores no debe extenderse más de quince minutos. Su propósito es identificar si algún umbral ha sido superado y, si es así, definir la acción correctiva concreta para la semana siguiente. El formulario de registro es el único insumo necesario para esta revisión.

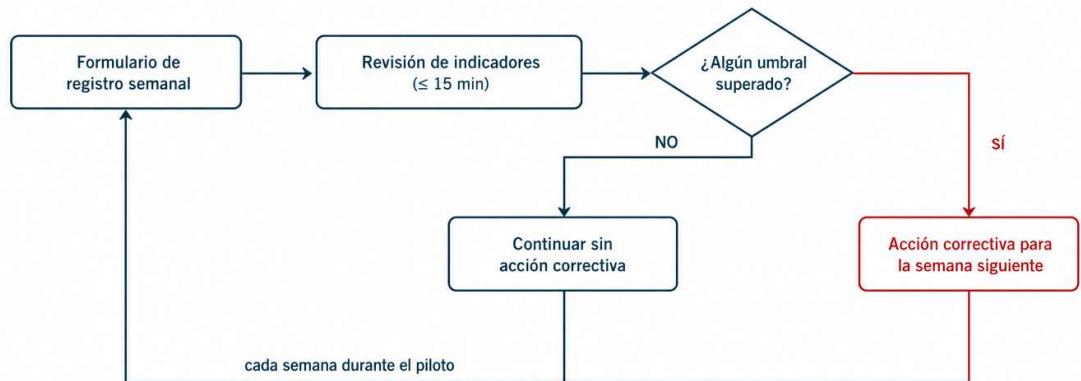


Figura 23: Ciclo de control semanal de indicadores

Capítulo 7: Resultados del piloto

El presente capítulo recoge los resultados obtenidos durante la aplicación del piloto de cuatro semanas descrito en el Capítulo 6. El piloto se diseñó como un primer ciclo de validación de la propuesta de optimización en condiciones operativas reales del departamento Mechanical Equipment, con el propósito de comprobar si las tres líneas de actuación (desarrollo técnico del junior, estandarización de procesos y criterios formales de priorización) producían el efecto previsto sobre la calidad de los entregables y sobre la carga de revisión concentrada en el ingeniero Líder. Los resultados se estructuran en torno a los cinco indicadores definidos en el sistema de seguimiento, se comparan con la línea base registrada antes de la intervención y se interpretan a la luz de las causas raíz identificadas en el diagnóstico.

Conviene precisar el alcance de estos resultados. El piloto abarcó cuatro semanas de operación y un número reducido de proyectos, por lo que sus conclusiones tienen carácter indicativo y no estadísticamente concluyente. Su valor no reside en la representatividad muestral, sino en la verificación de que los mecanismos propuestos funcionan en la práctica y en la identificación temprana de ajustes necesarios antes de una implantación permanente. Los proyectos incluidos correspondieron mayoritariamente al tipo HVAC Duct Stands (el proceso sobre el que se elaboró el procedimiento operativo estándar y la lista de verificación) junto con algún proyecto de generador residencial, excluyendo deliberadamente los proyectos clasificados como complejos, salvo un caso puntual que se analiza más adelante. La ejecución técnica de los entregables recayó en el ingeniero junior, interviniendo el Líder únicamente en las dos puertas de revisión.

7.1 Ejecución del piloto y registro semanal

Antes de iniciar la intervención se registró el estado de partida del departamento, que constituye la semana cero (S0) del piloto. Estos valores de referencia se obtuvieron a partir de las revisiones recientes y reflejan el comportamiento del proceso sin ninguna de las medidas propuestas en funcionamiento: KPI 1 (comentarios de formato en Puerta 1), 3 comentarios por proyecto; KPI 2 (comentarios totales en Puerta 1), 3 comentarios; KPI 3 (comentarios totales en Puerta 2), 7 comentarios; KPI 4 (lead time de revisión), 8 horas; y KPI 5 (duración real de la revisión de Puerta 1), 30 minutos.

Semana 1. Durante la primera semana se revisaron tres proyectos. Los comentarios de formato en Puerta 1 descendieron de 3 a 2, y el total de comentarios en Puerta 1 de 3 a 2, mientras que la duración de la revisión se mantuvo en 30 minutos. Esta ausencia de mejora en el tiempo de revisión se explica por la fase de adopción de la herramienta: en los dos últimos proyectos de la semana el entregable tuvo que devolverse al junior porque la lista de verificación no había sido completada, lo que indica que el hábito de uso todavía no estaba consolidado. La aplicación de los criterios de priorización resultó difícil debido a la elevada carga de esa semana, lo que se reflejó en un lead time que descendió solo moderadamente, de 8 a 6,75 horas. Pese a estas dificultades iniciales, la valoración de la semana fue positiva en dos aspectos: se concluyó que el checklist era lo suficientemente sencillo para su uso rutinario, y que no se presentaron situaciones de revisión que no estuvieran cubiertas por los comentarios típicos previstos, lo que validó la cobertura del instrumento.

En esta primera semana se registró además la única anomalía significativa del piloto: los

comentarios en Puerta 2 aumentaron de 7 a 9. El análisis de la desviación determinó que no se debía a un deterioro del proceso, sino a un proyecto concreto que requería una coordinación más dedicada con el contratista, lo que generó observaciones adicionales en la memoria de cálculos y en la coherencia del paquete final. La incidencia se documentó y se incorporó como insumo al plan de desarrollo del junior, dado que la capacidad de anticipar y gestionar este tipo de coordinación es precisamente una de las competencias que el plan busca desarrollar.

Semana 2. En la segunda semana se revisaron cinco proyectos. Conforme a lo acordado en la reunión de seguimiento, no se realizó ninguna calibración del instrumento, ya que la lista de verificación se consideró suficiente para evaluar lo necesario en los planos. Los resultados mostraron una mejora clara y generalizada: los comentarios de formato en Puerta 1 bajaron a 1, el total de comentarios en Puerta 1 se mantuvo en 2, los comentarios en Puerta 2 se redujeron a 5 —alcanzando el objetivo del piloto—, el lead time descendió a 4,5 horas y la duración de la revisión bajó a 25 minutos. El hecho más relevante de la semana fue la consolidación del hábito: el junior ya no olvidó utilizar el checklist en ningún proyecto. Al mismo tiempo, se detectó que persistía un comentario de formato recurrente en los planos que el checklist en su versión inicial no cubría, y se identificó la necesidad de incorporarlo al instrumento.

Semana 3. En la tercera semana se revisaron cinco proyectos. Los comentarios de formato en Puerta 1 se mantuvieron en 1, el total de comentarios en Puerta 1 alcanzó el objetivo de 1, los comentarios en Puerta 2 se situaron en 6, el lead time llegó a 4 horas —cumpliendo el objetivo— y la duración de la revisión descendió a 20 minutos, alcanzando también su objetivo. Durante esta semana se materializó la primera iteración de mejora continua sobre el instrumento: el checklist fue modificado para incorporar el comentario de formato detectado en la semana anterior. Adicionalmente, se observó que un par de comentarios recurrentes de Puerta 2 podían anticiparse añadiendo algunos chequeos adicionales a la lista de verificación, lo que abrió una vía para extender el efecto del instrumento más allá de la Puerta 1.

Semana 4. En la última semana se revisaron tres proyectos. Los comentarios de formato en Puerta 1 se mantuvieron en 1, el total de comentarios en Puerta 1 fue de 2, los comentarios en Puerta 2 se mantuvieron en 6, el lead time se estabilizó en 4 horas y la duración de la revisión alcanzó su mejor registro con 15 minutos, por debajo del objetivo de 20. A lo largo de todo el piloto los planes de contingencia previstos en el Capítulo 6 no llegaron a activarse; la única intervención sobre el diseño original fue la modificación del checklist en la tercera semana, que corresponde a una mejora planificada y no a una acción correctiva de emergencia.

Indicador	S0 referencia	S1	S2	S3	S4	Objetivo
Proyectos revisados en la semana	—	3	5	5	3	—
Comentarios de formato en Puerta 1	3	2	1	1	1	0
Total de comentarios en Puerta 1	3	2	2	1	2	≤ 1
Total de comentarios en Puerta 2	7	9	5	6	6	≤ 5
Lead time de revisión (h)	8	6,75	4,5	4	4	≤ 4
Duración de la revisión en P1 (min)	30	30	25	20	15	≤ 20

Tabla 10: Registro semanal del piloto por KPI S0 a S4

7.2 Resultados por indicador

La comparación entre la línea base y el estado al cierre del piloto permite valorar el grado de cumplimiento de cada indicador respecto a su objetivo.

Indicador	Línea base (S0)	Resultado final (S4)	Objetivo	Grado de cumplimiento
Comentarios de formato en Puerta 1	3	1	0	Parcial
Total de comentarios en Puerta 1	3	2	≤ 1	Parcial
Total de comentarios en Puerta 2	7	6	≤ 5	Parcial
Lead time de revisión	8 h	4 h	≤ 4 h	Cumplido
Duración de la revisión (Puerta 1)	30 min	15 min	≤ 20 min	Cumplido

Tabla 11: Resumen de resultados del piloto.

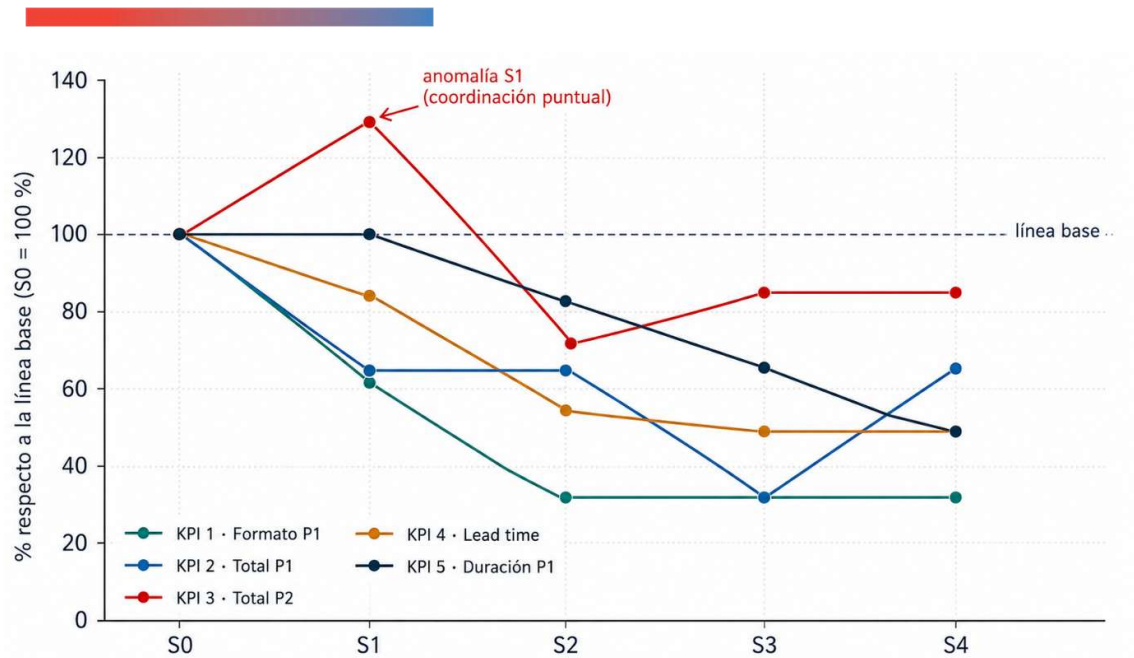


Figura 24: Evolución semanal de los KPI Respecto a la línea base

7.2.1 Indicadores de calidad de los entregables

KPI 1 Comentarios de formato en Puerta 1 (base 3, objetivo 0). El indicador siguió una trayectoria descendente de 3, 2, 1, 1 y 1, cerrando el piloto en 1 comentario por proyecto. Aunque no se alcanzó el objetivo de cero, la reducción del 67 % respecto a la línea base es sustancial y tiene una explicación identificada: el comentario de formato residual corresponde precisamente al ítem que el checklist inicial no cubría y que se detectó en la semana 2. La incorporación de ese ítem al instrumento en la semana 3 sienta las bases para que, en ciclos posteriores, el indicador pueda efectivamente llegar a cero. Este resultado confirma la hipótesis central del checklist: los errores de formato son sistemáticos y eliminables mediante una verificación previa estructurada.

KPI 2 Comentarios totales en Puerta 1 (base 3, objetivo ≤ 1). El indicador evolucionó de 3, 2, 2, 1 y 2, alcanzando el objetivo en la semana 3 pero volviendo a 2 en la semana 4. Este comportamiento oscilante alrededor del objetivo es coherente con la naturaleza mixta del indicador, que agrega comentarios de formato y técnicos: mientras la componente de formato se reduce de forma estable por efecto del checklist, la componente técnica depende del nivel de madurez del junior, que evoluciona más lentamente. El tamaño muestral reducido de la última semana (tres proyectos) también incrementa la sensibilidad del promedio a casos individuales. En conjunto, el indicador se sitúa al final del piloto muy próximo a su objetivo.

KPI 3 Comentarios totales en Puerta 2 (base 7, objetivo ≤ 5). El indicador describió la trayectoria 7, 9, 5, 6 y 6, cerrando en 6 comentarios por proyecto. El objetivo de cinco solo se alcanzó en la semana 2, y el pico de 9 de la semana 1 corresponde a la anomalía ya explicada. El resultado final representa una mejora respecto a la línea base, pero no consolida el cumplimiento del objetivo. Este comportamiento era el previsto en el diseño del sistema de indicadores: los comentarios de Puerta 2 son mayoritariamente técnicos y su reducción depende del desarrollo de competencias del junior, cuyo horizonte es más amplio que las cuatro semanas del piloto. El efecto observado corresponde principalmente a la eliminación de los errores de formato que también llegaban a Puerta 2, no a una mejora técnica de fondo. La observación de

la semana 3 sobre comentarios de Puerta 2 anticipables mediante nuevos chequeos ofrece una palanca concreta para mejorar este indicador en ciclos futuros.

7.2.2 Indicadores de carga operativa del líder

KPI 4 Lead time de revisión (base 8 h, objetivo ≤ 4 h). El indicador se redujo de 8, 6,75, 4,5, 4 y 4 horas, cumpliendo el objetivo a partir de la tercera semana y estabilizándose en él. La mejora fue progresiva y no inmediata, lo que resulta coherente con la dificultad reportada en la semana 1 para aplicar los criterios de priorización bajo alta carga: el efecto de los criterios se materializó a medida que su aplicación se rutinizó. La reducción a la mitad del tiempo de espera confirma que buena parte del retraso en la atención de las revisiones no obedecía a falta de horas, sino a la ausencia de una secuencia clara que evitara la toma de decisión reactiva sobre qué revisar primero.

KPI 5 Duración real de la revisión de Puerta 1 (base 30 min, objetivo ≤ 20 min). El indicador evolucionó de 30, 30, 25, 20 y 15 minutos, cumpliendo el objetivo en la semana 3 y superándolo en la semana 4. El estancamiento inicial en 30 minutos durante la primera semana refleja la fase de adopción del checklist, incluidas las devoluciones al junior por no haberlo completado, tras la cual la mejora fue sostenida. La reducción del 50 % en el tiempo de revisión es atribuible directamente al efecto del checklist: al llegar los entregables con los errores de formato ya depurados, el líder dedica menos tiempo a identificar y documentar esos errores y puede concentrar la revisión en los aspectos técnicos. Este es, junto con el lead time, el resultado más contundente del piloto y el que tiene un impacto más directo sobre la restricción del sistema.

7.3 Tratamiento de anomalías e incidencias

El piloto presentó una única anomalía estadística el pico de comentarios de Puerta 2 en la semana 1 cuyo origen se determinó y documentó como un proyecto con necesidades de coordinación excepcionales con el contratista, no atribuible al proceso ni a las medidas implantadas. El tratamiento de esta desviación ilustra el funcionamiento previsto del sistema de control: la desviación no se interpretó de forma mecánica como un fallo, sino que se analizó su causa antes de emitir cualquier juicio, y su resultado se convirtió en información útil para el plan de desarrollo del junior.

En cuanto a la evolución del instrumento, el piloto generó dos aprendizajes de mejora continua. En la semana 2 se identificó un comentario de formato recurrente no cubierto por el checklist inicial, que se incorporó al instrumento en la semana 3. En la semana 3 se detectó que ciertos comentarios de Puerta 2 podían anticiparse mediante chequeos adicionales, lo que define una línea de ampliación del checklist hacia la Puerta 2. Ninguno de los planes de contingencia definidos en el Capítulo 6 debió activarse durante el piloto, lo que sugiere que el diseño de la intervención fue robusto frente a las condiciones operativas encontradas.

7.4 Síntesis de resultados

El balance del piloto es claramente positivo, con un patrón de cumplimiento coherente con la lógica del diagnóstico. Los indicadores más directamente ligados al efecto inmediato de la intervención la duración de la revisión (KPI 5) y el lead time (KPI 4) cumplieron o superaron sus objetivos, demostrando que las medidas propuestas alivian de forma tangible la carga concentrada en el líder. Los indicadores de calidad de la Puerta 1 (KPI 1 y KPI 2) se

aproximaron mucho a sus objetivos, con una reducción sustancial y explicada. El indicador más dependiente del desarrollo técnico de fondo (KPI 3, Puerta 2) mejoró respecto a la línea base, pero no alcanzó su objetivo, exactamente como anticipaba el diseño del sistema de seguimiento, dado que su horizonte de mejora excede la duración del piloto.

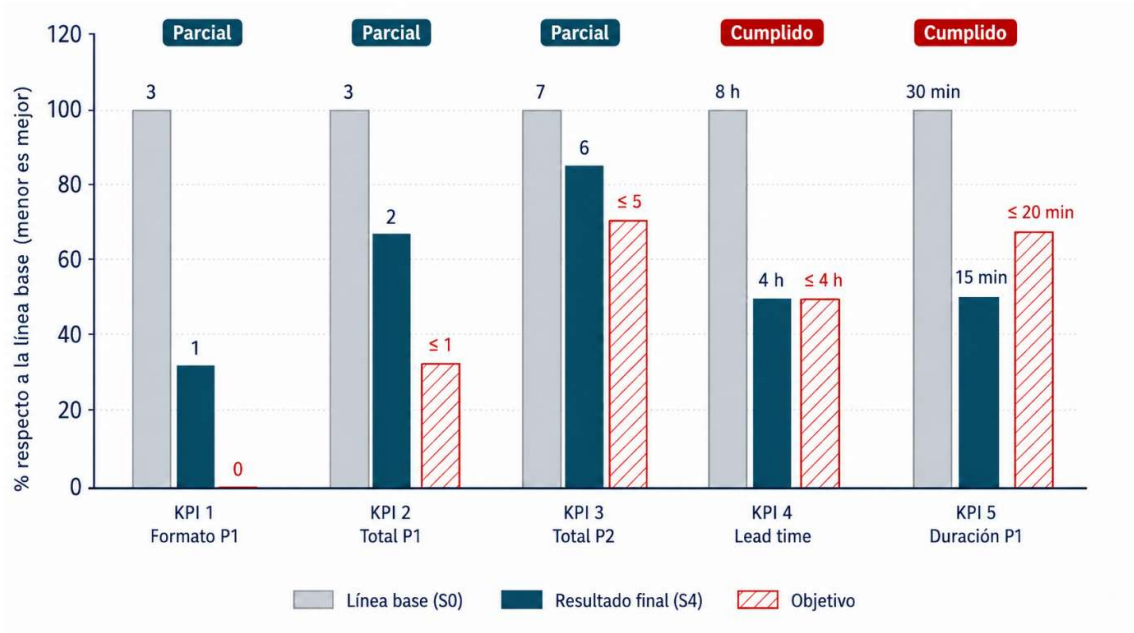


Figura 25: Grado de cumplimiento de KPIs por indicador

Más allá del cumplimiento numérico, el resultado más importante del piloto es de carácter cualitativo: se validó que el modelo operativo propuesto funciona en condiciones reales. El junior fue capaz de ejecutar los entregables de los tipos de proyecto más frecuentes y de incorporar el uso del checklist como hábito en apenas dos semanas; la revisión del líder se hizo más rápida y más ordenada; y el sistema de indicadores demostró ser capaz no solo de medir, sino de generar aprendizajes accionables sobre el propio instrumento y sobre las necesidades de desarrollo del equipo. En términos del diagnóstico, el piloto aporta evidencia a favor de la tesis central del trabajo: la fragilidad del departamento no se resuelve incorporando más horas, sino redistribuyendo el conocimiento y estructurando el proceso, y ello es alcanzable con los recursos internos existentes.

Capítulo 8: Conclusiones y líneas futuras

El presente trabajo ha abordado un problema operativo real en el departamento Mechanical Equipment de DOP Engineering: la concentración de la función de validación en el ingeniero Líder, que concentra la función de validación en un único punto del proceso y hace al departamento frágil ante incrementos de demanda. El análisis realizado mediante las herramientas de las fases Define, Measure y Analyze del ciclo DMAIC ha permitido cuantificar el problema, identificar sus causas raíz y diseñar una propuesta de optimización articulada en tres líneas de actuación directamente conectadas con esas causas.

El aporte central del trabajo es demostrar que el problema del departamento no requiere incorporar recursos adicionales para ser resuelto. La causa no es la escasez de horas, sino la distribución del conocimiento: el junior tiene capacidad técnica de ejecución suficiente para producir los entregables de los tipos de proyecto más frecuentes, pero carece de los criterios, herramientas y competencias que le permitirían prepararlos con una calidad suficiente para reducir la intervención del Líder en las puertas críticas. La existencia del plan maestro de Residential Generator Stands dentro del propio departamento es la prueba interna de que este modelo funciona cuando el proceso está suficientemente estandarizado.

La propuesta diseñada combina tres elementos complementarios. La lista de verificación de autorevisión elimina de forma inmediata los errores de formato que hoy generan una parte significativa de los comentarios en Puerta 1, con un impacto esperable en las primeras semanas de uso. Los SOPs para los tipos de proyecto más frecuentes externalizan el conocimiento implícito del Líder en documentos consultables, reduciendo la dependencia del junior de la intervención directa del responsable para interpretar qué es un entregable correcto. El plan de desarrollo técnico construye a lo largo de doce meses las competencias de mayor complejidad (interpretación del EOR y evaluación de la complejidad de los proyectos) que son las que más contribuyen a la carga de revisión y las que más tiempo requieren para desarrollarse.

El piloto de cuatro semanas permitió validar el efecto de las medidas de impacto inmediato y obtener datos cuantitativos comparables con el estado de referencia antes de la intervención. Los resultados del piloto, recogidos en el Capítulo 7, determinaron en qué medida las medidas propuestas alcanzan los objetivos planteados, orientando los ajustes necesarios antes de proceder con el despliegue completo del plan de desarrollo y los SOPs para los tipos de proyecto restantes.

8.1 Conclusiones

El piloto de cuatro semanas permitió cerrar el ciclo DMAIC completando la fase de control con datos de operación y ofrece una respuesta directa a la pregunta motriz del proyecto. Los resultados confirman que las tres líneas de actuación propuestas producen el efecto previsto sobre la restricción del sistema. La estandarización del proceso mediante el procedimiento operativo estándar y la lista de verificación redujo a la mitad la duración de la revisión de Puerta 1 y eliminó la mayor parte de los comentarios de formato, identificados en el diagnóstico como el error más frecuente y de menor valor técnico. Los criterios formales de priorización redujeron a la mitad el tiempo de espera de las revisiones, ordenando una cola que antes se gestionaba de forma reactiva. Y el desarrollo del junior, aunque su efecto sobre los comentarios técnicos de Puerta 2 es todavía incipiente por su horizonte más largo, mostró una progresión coherente y generó, a través de las incidencias del piloto, insumos concretos para orientar su

formación.

El resultado valida la hipótesis central del trabajo: el problema del departamento Mechanical Equipment no es un problema de escasez de recursos, sino de distribución del conocimiento y de estructuración del proceso. La existencia previa del plan maestro de Residential Generator Stands ya sugería que la estandarización era viable dentro del propio departamento; el piloto extiende esa prueba a un tipo de proyecto más complejo —los HVAC Duct Stands— y demuestra que el mismo principio puede aplicarse de forma sistemática y medible. La contribución del trabajo no se limita, por tanto, a un conjunto de mejoras puntuales, sino que propone y valida un modelo de gestión replicable para un departamento técnico reducido que opera bajo el modelo de ingeniería delegada.

8.2 Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos se formulan las siguientes recomendaciones para la consolidación y extensión de la propuesta:

- **Consolidar las mejoras del checklist detectadas durante el piloto.** Incorporar de forma definitiva el comentario de formato identificado en la semana 2 y desarrollar los chequeos adicionales de Puerta 2 realizados en la semana 3. Esta ampliación del instrumento hacia la Puerta 2 es la vía más inmediata para mejorar el KPI 3, único indicador que no alcanzó su objetivo.
- **Extender la duración del seguimiento para los indicadores técnicos.** Dado que los comentarios de Puerta 2 dependen del desarrollo de competencias del junior, cuyo horizonte es de meses y no de semanas, se recomienda mantener el registro de indicadores más allá del piloto y evaluar el KPI 3 sobre un período coherente con el plan de desarrollo a doce meses.
- **Incorporar la coordinación con el contratista al plan de desarrollo del junior.** La anomalía de la semana 1 evidenció que la coordinación en proyectos de mayor complejidad es una competencia todavía no consolidada. Se recomienda añadirla explícitamente como objetivo formativo, tal como ya se documentó durante el piloto.
- **Reforzar la aplicación de los criterios de priorización en semanas de alta carga.** La dificultad reportada en la semana 1 para aplicar los criterios bajo presión sugiere formalizar su uso mediante una rutina ligera de encolado, de modo que la priorización se sostenga precisamente en los momentos en que resulta más necesaria.
- **Adoptar el cuadro de indicadores como herramienta de gestión permanente.** El sistema de seguimiento demostró ser ligero de mantener y capaz de generar aprendizajes accionables. Se recomienda integrarlo de forma estable en la operación del departamento como cuadro de mando operativo, más allá del contexto del piloto.
- **Replicar el modelo de estandarización en otros tipos de proyecto.** Confirmada su eficacia en los HVAC Duct Stands, se recomienda extender progresivamente el enfoque de procedimiento operativo estándar y lista de verificación a los demás tipos de proyecto del departamento, priorizando los de mayor frecuencia y menor variabilidad.

8.3 Limitaciones del estudio

El trabajo presenta varias limitaciones que deben tenerse en cuenta al interpretar sus resultados. En primer lugar, el piloto tiene una duración de cuatro semanas, lo que limita el tamaño de la muestra de proyectos analizados y puede no capturar la variabilidad estacional de la demanda del departamento. Un período de seguimiento más largo proporcionaría resultados más robustos.

En segundo lugar, los datos de referencia utilizados para definir los valores de línea base (número de comentarios por revisión, tiempos de espera, horas extra) se basan en la estimación del responsable del departamento y no en un registro sistemático previo ya que no se llevaba un registro de los mismos. Aunque estas estimaciones son coherentes con la realidad operativa descrita, la ausencia de datos históricos cuantitativos limita la precisión de la comparación. Este es, precisamente, uno de los efectos positivos indirectos del piloto: la implementación de los KPIs genera por primera vez un registro sistemático que enriquecerá la gestión futura del departamento independientemente de los resultados del piloto en sí.

En tercer lugar, el piloto no cubre las medidas de desarrollo de competencias del junior, cuyos efectos son por definición diferidos en el tiempo y no serán visibles hasta el segundo o tercer trimestre del plan de desarrollo. La evaluación completa de la propuesta requeriría un horizonte de seguimiento de doce meses, que excede el alcance del presente trabajo.

8.4 Líneas futuras

Una vez completado el piloto y validadas las medidas de impacto inmediato, el departamento Mechanical Equipment tiene una hoja de ruta clara para los doce meses siguientes. El plan de desarrollo del junior sigue la secuencia de cuatro trimestres diseñada en la sección 5.1, con evaluación trimestral de la matriz de competencias. El despliegue de los SOPs se extiende al resto de tipos de proyecto del departamento siguiendo la estructura definida para HVAC Duct Stands, priorizando los tipos de mayor frecuencia y mayor consumo de horas de revisión.

A nivel organizativo, los resultados del piloto y del plan de desarrollo pueden servir de referencia para otros departamentos de DOP Engineering que operen bajo modelos de equipo similares (un Líder con función de validación y un equipo en desarrollo), como Metals and Woods y Glass and Glazing. La metodología aplicada en este trabajo es transferible a esos contextos con adaptaciones específicas a sus tipos de proyecto y sus brechas de competencias particulares.

Finalmente, la implementación del sistema de KPIs en Striven abre la posibilidad de construir un cuadro de mando operativo del departamento que permita al Project Manager visualizar en tiempo real la carga de cada equipo, los proyectos en cola de revisión y las horas registradas por tipo de proyecto. Esta visibilidad, que hoy no existe de forma sistemática, es una condición necesaria para escalar el modelo de gestión de DOP Engineering a medida que la empresa crece en número de departamentos y volumen de proyectos.

Bibliografía

- Chase, R. B., Jacobs, F. R., y Aquilano, N. J. (2006). *Operations Management for Competitive Advantage* (11.^a ed.). Nueva York: McGraw-Hill Irwin.
- DOP Engineering. (2025a). *Engineering Workflow P-ENG-Workflow-V1.0*. Miami, FL: DOP Engineering. [Documento interno no publicado.]
- DOP Engineering. (2025b). *Organigrama Corporativo DOP Engineering*. Miami, FL: DOP Engineering. [Documento interno no publicado.]
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., y Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Goldratt, E. M. (1990). *Theory of Constraints*. Great Barrington, MA: North River Press.
- Goldratt, E. M., y Cox, J. (1992). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement* (2.^a ed.). Great Barrington, MA: North River Press.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control* (8.^a ed.). Nueva York: John Wiley & Sons.
- Nonaka, I., y Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Nueva York: Oxford University Press.
- Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (7.^a ed.). Newtown Square, PA: PMI.
- Pyzdek, T., y Keller, P. A. (2014). *The Six Sigma Handbook* (4.^a ed.). Nueva York: McGraw-Hill Education.
- Rother, M., y Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., y Johnston, R. (2016). *Operations Management* (8.^a ed.). Harlow: Pearson Education.
- Spencer, L. M., y Spencer, S. M. (1993). *Competence at Work: Models for Superior Performance*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Womack, J. P., y Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* (2.^a ed.). Nueva York: Free Press.
- Womack, J. P., Jones, D. T., y Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. Nueva York: Free Press.