



CURSO INTENSIVO

# Cómo aplicar Ingeniería de Valor para optimizar tu proyecto minero

Según el estándar internacional ASTM E1699

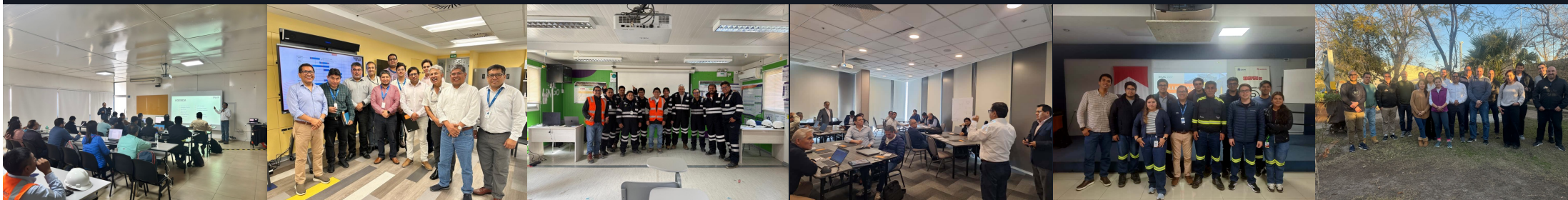
FACILITADOR  
FREDY ALEJANDRO

ProjectMin

INVA



**Fredy Alejandro** es Ingeniero por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), MBA por CENTRUM PUCP y cuenta con especialización en Finanzas Corporativas por la Universidad de Chicago. Posee más de 26 años de experiencia liderando megaproyectos mineros en Perú y Chile. Es experto en aplicación de Ingeniería de Valor, gestión de riesgos y optimización de proyectos, con certificaciones PMP, SAVE International - ASTM E1699.



# 75

75% de proyectos mineros fracasa  
Según el Independent Project Analysis (IPA)

## AGENDA DE LA SESIÓN

|       |                                                      |        |
|-------|------------------------------------------------------|--------|
| 14:45 | Apertura, encuadre y expectativas                    | 10 min |
| 14:55 | Módulo 1 — Fundamentos y estándar ASTM E1699         | 20 min |
| 15:15 | Módulo 2 — Proceso y fases de un estudio             | 15 min |
| 15:30 | Módulo 3 — Análisis funcional, FAST y alternativas   | 20 min |
| 15:50 | Módulo 4 — Ingeniería de Valor en el ciclo FEL       | 10 min |
| 16:00 | <b>Coffe Break</b>                                   | 15 min |
| 16:15 | Módulo 5 — Implementación, seguimiento e indicadores | 30 min |
| 16:45 | Caso integrador en grupos de 2 o 3 personas          | 30 min |
| 17:15 | Módulo 6 — Síntesis, checklist y plan de acción      | 10 min |
| 17:25 | Módulo 7 — IA plicada a Ingeniería de Valor          | 20 min |

## PRINCIPALES LINEAMIENTOS

# Al terminar la sesión serás capaz de

- 01 Comprender el alcance, estructura y aplicación del estándar ASTM E1699 en proyectos mineros.
- 02 Diferenciar la reducción de costos de una verdadera optimización de valor.
- 03 Planificar un estudio de Ingeniería de Valor: etapas, participantes, facilitador y entregables.
- 04 Aplicar análisis funcional y la técnica FAST para identificar oportunidades de mejora.
- 05 Evaluar alternativas mediante matrices de valor y análisis costo-beneficio.
- 06 **DESARROLLAR UN MEJOR ESCENARIO PARA LOS INVERSIONISTAS.**
- 07 Definir indicadores para medir el impacto y retorno de las propuestas implementadas.

# BENEFICIOS DE LOS VIP

VIPs: Value Improving Practices

| VIP                                                  | AHORROS RELACIONADOS CON LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO |                                   | AHORROS RELACIONADOS CON LA OPERACIÓN |                                                 |                                   |                                                    |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                      | Costo total Instalado (CTI)                        | Cronograma                        | Energía                               | Mantenimiento (3-5% de la Inversión de Capital) | Uso en Operación                  | Costos de Mano de Obra y Períodos                  |
| Selección de Tecnología                              | Función de Objetivos del Proyecto                  | Función de Objetivos del Proyecto | Función de Objetivos del Proyecto     | Función de Objetivos del Proyecto               | Función de Objetivos del Proyecto | Función de Objetivos del Proyecto                  |
| Clases de Instalación                                | Función de Objetivos del Proyecto                  | Función de Objetivos del Proyecto | Función de Objetivos del Proyecto     | Función de Objetivos del Proyecto               | Función de Objetivos del Proyecto | Función de Objetivos del Proyecto                  |
| Simplificación de Procesos                           | Hasta 30% CTI                                      |                                   |                                       |                                                 |                                   |                                                    |
| Diseño a Capacidad                                   | 10-20% Equip                                       |                                   |                                       |                                                 |                                   |                                                    |
| Est. y Esp. Personalizadas                           | Hasta 2% CTI                                       |                                   |                                       |                                                 |                                   |                                                    |
| Ingeniería de Valor                                  | Hasta 10% CTI                                      |                                   |                                       |                                                 |                                   |                                                    |
| Optimización de Energía                              |                                                    |                                   | 5-10% del OPEX                        |                                                 |                                   |                                                    |
| Minimización de Residuos                             |                                                    |                                   |                                       |                                                 |                                   | Función de Parámetros de Procesamiento de Residuos |
| Simulaciones y Modelado de Confiabilidad de Procesos |                                                    |                                   |                                       |                                                 | Función de Objetivos del Proyecto |                                                    |
| Mantenimiento Predictivo                             |                                                    |                                   |                                       | Función de Parámetros de Falla                  |                                   |                                                    |
| Constructabilidad                                    | Hasta 10% CTI                                      | Hasta 15% Cronograma              |                                       |                                                 |                                   |                                                    |
| Herramientas de Diseño                               |                                                    | Hasta 25% Cronograma              |                                       |                                                 |                                   |                                                    |
| Revisiones de Seguridad de Procesos                  | Seguridad                                          | Seguridad                         | Seguridad                             | Seguridad                                       | Seguridad                         | Seguridad                                          |

¿POR QUÉ ESTE CURSO?

## Un esfuerzo acotado con un ALTO retorno.

10%

de reducción de CAPEX es un resultado alcanzable con VIP aplicadas a tiempo.

15 días

es el esfuerzo máximo de un estudio, incluso en proyectos complejos.

+ \$500M

en proyectos mineros gestionados por INVA en la region.

## OBJETIVO DEL CURSO

# Entregar las herramientas para aplicar Ingeniería de Valor bajo ASTM E1699

Dirigido a profesionales vinculados con proyectos mineros e industriales, el curso permite estructurar estudios de optimización, identificar oportunidades de impacto en CAPEX y OPEX, evaluar alternativas y mejorar la toma de decisiones en las distintas etapas del ciclo de vida del proyecto.

01

Estructurar estudios de optimización

02

Identificar impacto en CAPEX y OPEX

03

Evaluar alternativas con criterios explícitos

04

Mejorar la toma de decisiones por etapa

MÓDULO

# 01

## Fundamentos de Ingeniería de Valor y estándar ASTM E1699

Qué es valor, qué no es recorte de costos y qué exige el estándar.



MÓDULO 01

# Historia de la Metodología VE

Información de referencia

- ASTM Norma Práctica E1699-14 para la Ingeniería de Valor.
- SAVE International : [www.value-eng.org](http://www.value-eng.org)
- Fundación [www.valuefoundation.org](http://www.valuefoundation.org)



Escasez de materiales durante la 2da Guerra Mundial. En la Compañía General Electric buscaron sustitutos para luego descubrir que tenían rendimiento igual o mejor a un menor costo.



Lawrence De Miles lanzó un esfuerzo para sistematizar el concepto como "Análisis de Valor"



El Departamento de Defensa de los EEUU adoptó esta metodología como "Ingeniería de Valor". Se estableció la Sociedad de Ingenieros de Valor de América (SAVE) en 1959.

## MÓDULO 01 — MARCO NORMATIVO

# Referencias que sostienen la práctica

### ASTM E1699

Práctica estándar para ejecutar estudios de valor sobre proyectos, productos y procesos.

### ASTM E2013

Práctica estándar para construir diagramas FAST de análisis funcional.

### IPA — VIP

Value Improvement Practices y su medición dentro del proceso FEL.

### CII Best Practices

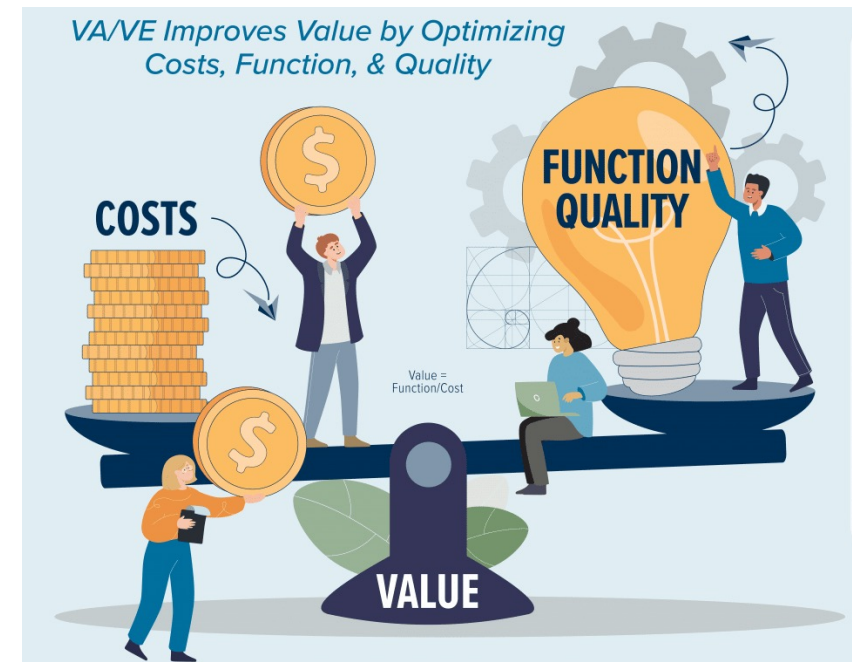
Evidencia de desempeño de las prácticas de mejora en proyectos de capital.

## MÓDULO 01 — DEFINICIÓN

# Qué es la Ingeniería de Valor (ASTM E1699)

Ingeniería de Valor, es un **procedimiento sistemático** para revisar un producto, servicio o proyecto, **centrado en la óptica de la función** o el propósito a que se destina, de modo a estimular la búsqueda de alternativas que cumplan simultáneamente las mismas funciones, pero con costos más bajos.

|                |                                                                          |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Función</b> | El propósito o intención de un elemento cuando opera de manera esperada. |
| <b>Costo</b>   | El recurso total del ciclo de vida requerido para entregar esa función.  |
| <b>Valor</b>   | La relación entre la función entregada y el costo de entregarla.         |



## MÓDULO 01 — CONCEPTO CENTRAL

# Cuatro formas legítimas de aumentar el valor

$$\text{Valor} = \frac{\text{Función}}{\text{Costo de ciclo de vida}}$$

01

Misma función, menor costo

02

Mayor función, mismo costo

03

Mayor función, menor costo

04

Costo mayor justificado por  
función muy superior

## EJERCICIO 01

## 01

# ¿Eso que hicieron fue Ingeniería de Valor?

En parejas, tomen un ejercicio de optimización que hayan vivido en un proyecto real y verifiquen si cumple los cinco elementos que exige un estudio formal.

01

Trabajo en equipo  
multidisciplinario

02

Análisis funcional  
explícito

03

Fase creativa  
estructurada

04

Relación costo-valor  
cuantificada

05

Aplicación de una  
técnica reconocida

Verificación de los cinco elementos

Proyecto \_\_\_\_\_ Participantes \_\_\_\_\_

| Nº | ELEMENTO EXIGIDO                     | SÍ / PARCIAL / NO | EVIDENCIA (DOCUMENTO, ACTA, REGISTRO) | QUÉ FALTÓ |
|----|--------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-----------|
| 01 | Trabajo en equipo multidisciplinario |                   |                                       |           |
| 02 | Análisis funcional explícito         |                   |                                       |           |
| 03 | Fase creativa estructurada           |                   |                                       |           |
| 04 | Relación costo-valor cuantificada    |                   |                                       |           |
| 05 | Aplicación de una técnica reconocida |                   |                                       |           |

MÓDULO

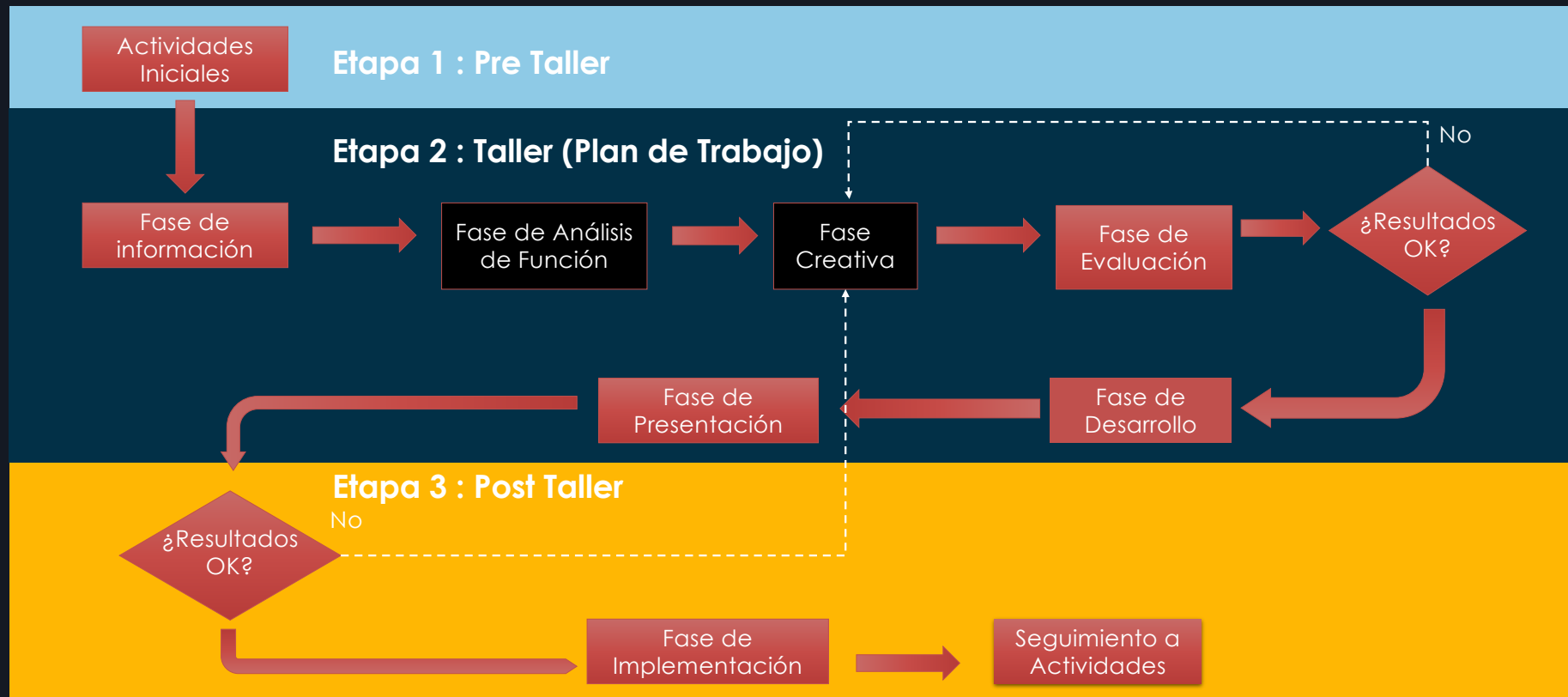
# 02

## Proceso y fases de un estudio de Ingeniería de Valor

Del encargo al informe: secuencia, equipo, información y tiempos.

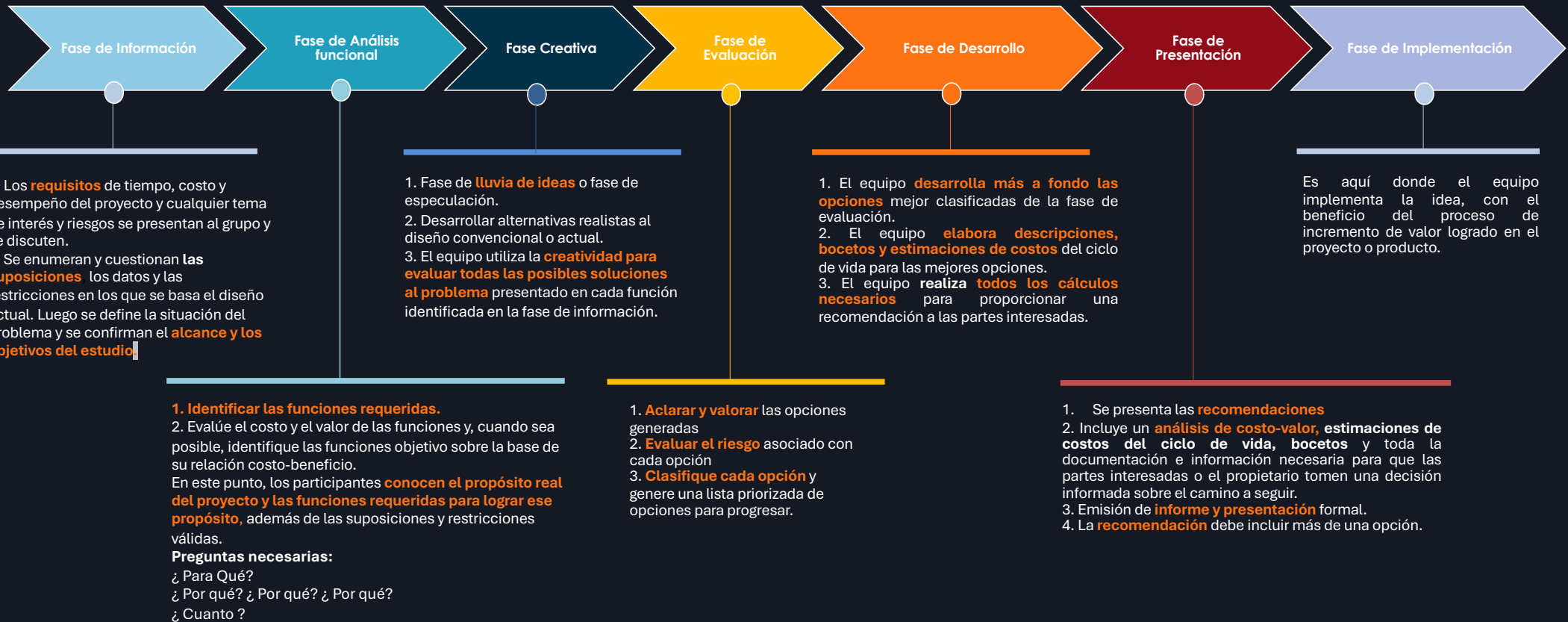


# Proceso de Ingeniería de Valor - ASTM E1699



MÓDULO 02 — PROCESO

# Proceso de Ingeniería de Valor



**MÓDULO 02 – EQUIPO**

# Quién se sienta en la mesa

**CARACTERÍSTICAS DEL LIDER VE**

1. Conocimiento técnico profundo.
2. Habilidades de facilitación.
3. Pensamiento Crítico y analítico.
4. Enfoque en la colaboración.
5. Comunicación efectiva.
6. Orientación a resultados.
7. Capacidad de toma de decisiones.
8. Conocimiento de la Metodología de Ingeniería de Valor. (ASTM E1699)
9. Capacidad de síntesis.



EJERCICIO 02 — 10 MINUTOS

02

## Diseña el taller de tu proyecto

Sobre el proyecto que tienes en mente, define brevemente los conceptos siguientes.

01

### Alcance

Qué sistemas entran al estudio y cuáles quedan fuera.

02

### Equipo

Nombres y disciplinas, distinguiendo internos de externos.

03

### Información

Qué documentos existen hoy y cuáles hay que producir.

04

### Duración

Número de sesiones y días continuos de taller.

05

### Entregables

Informe, registro de ideas y plan de implementación.

06

### Decisor

Quién aprueba la incorporación de las ideas al proyecto.

# Ficha de convocatoria del estudio de valor

Proyecto \_\_\_\_\_ Etapa FEL \_\_\_\_\_

## 01 · Alcance

Sistemas dentro / fuera del estudio

---

---

---

## 02 · Equipo

Nombre · disciplina · interno o externo

---

---

---

## 03 · Información

Existe hoy / hay que producir

---

---

---

## 04 · Duración

Sesiones · días continuos · fechas

---

---

---

## 05 · Entregables

Informe · registro de ideas · plan

---

---

---

## 06 · Decisor

Cargo que aprueba la incorporación

---

---

---

MÓDULO

# 03 Análisis funcional, técnica FAST y generación de alternativas



Del componente a la función, y de la función a la alternativa evaluada.

---

**FAST** : *Function Analysis System Technique*

## MÓDULO 03 – ANÁLISIS FUNCIONAL

# Una función se describe con dos palabras

Verbo activo

+

Sustantivo medible

### ELEMENTO DEL ALCANCE

### DESCRIPCIÓN HABITUAL

### FUNCIÓN

Faja transportadora

Faja de 1.400 m con dos estaciones

**Trasladar mineral**

Espesador de relaves

Espesador de 45 m de diámetro

**Recuperar agua**

Sala eléctrica

Edificio de concreto con HVAC

**Proteger equipos**

Nombrar la función libera al equipo de la solución ya dibujada: se puede trasladar mineral de más de una manera.

## MÓDULO 03 — CLASIFICACIÓN

# No todas las funciones tienen el mismo peso

### Función básica

La razón por la que el sistema existe. Si desaparece, el proyecto no cumple su propósito.

No se elimina

### Función secundaria

Resulta de la manera elegida de cumplir la función básica. Cambia si cambia la solución.

Se cuestiona

### Función de apoyo

Responde a estética, conveniencia o costumbre del propietario, no a una exigencia del proceso.

Primer candidato a revisión

**FEL 3**

VIP • VALUE ENGINEERING

# Análisis funcional del sistema de transporte de relaves

Relave convencional en pulpa, impulsión por relaveducto. Definición de la función principal, las funciones secundarias, de soporte y de seguridad operacional.



## 01 • ENCUADRE

# Límites de batería y base de diseño

### INICIO

Descarga de la planta concentradora y cajón de traspaso

### FIN

Descarga en el depósito e interfaz de agua recuperada a planta

### BASE DE DISEÑO DE REFERENCIA

**120 kt/d**

tonelaje nominal

**52–58 %**

sólidos p/p

**2,0–3,5**

velocidad en línea, m/s

**≥ 96 %**

disponibilidad

**24/7**

operación continua

02 • LÓGICA FAST

# La función principal y su cadena de medios

← ¿POR QUÉ? (PROPÓSITO)

¿CÓMO? (MEDIOS) →

FUNCIÓN DE ORDEN SUPERIOR

Disponer el relave en  
forma estable y  
confinada

F0 • FUNCIÓN PRINCIPAL

Transportar relave desde  
la planta concentradora  
hasta el depósito

CADENA DE MEDIOS

Recepcionar →  
acondicionar → impulsar  
→ conducir → descargar  
→ retornar agua

### 03 • FUNCIONES SECUNDARIAS

## Cadena hidráulica principal

F1 – F4 de 07

#### **F1** Recepcionar y homogeneizar el flujo

Cajón de traspaso y distribución en planta

Retención 2–4 min · rebose 100 % a poza

#### **F2** Regular la densidad de la pulpa

Agua de dilución y control de descarga del espesador

Cw 52–58 % p/p · tolerancia  $\pm 2$  %

#### **F3** Impulsar la pulpa

Estación de bombeo principal y booster, bombas centrífugas en serie

40–60 bar por tren · configuración n+1

#### **F4** Conducir el flujo en forma confinada

Relaveducto en acero con revestimiento o HDPE

$v \geq 1,2 \times v$  de depositación · desgaste 20 años

### 03 • FUNCIONES SECUNDARIAS

## Disipación, descarga y retorno de agua

F5 – F7 de 07

#### F5

### Disipar la energía hidráulica

Estaciones disipadoras y válvulas de control (choke)

Presión residual < 10 bar en descarga

#### F6

### Distribuir y descargar en el depósito

Anillo de distribución, spigots y torre de descarga

Ciclo rotativo de spigots ·  
playa ≥ 200 m

#### F7

### Recuperar y retornar el agua a la planta

Barcaza, bombas de agua recuperada y línea de retorno

Recuperación 50-70 % del agua enviada

#### 04 • FUNCIONES DE APOYO

## Lo que habilita la operación continua

05 funciones

### S1 Suministrar energía y accionamiento

Respaldo N-1 · VDF en bombas principales

### S2 Suministrar agua de sellos y lavado

Presión de sello > descarga + 1 bar

### S3 Monitorear y controlar el sistema

Densidad, caudal y presión al DCS · registro 1 s

### S4 Permitir inspección y mantenimiento

Espesor remanente  $\geq 60\%$  · medición trimestral

### S5 Drenar y purgar la línea

Vaciado < 2 h · purga previa a parada programada

#### 04 • FUNCIONES DE APOYO

## Funciones no negociables - Seguridad

04 funciones

### G1 Prevenir la sobrepresión

Válvulas de alivio, discos de ruptura y lazos de alta presión

Set  $\leq 1,1 \times$  presión de diseño

### G2 Evitar la sedimentación y el atascamiento

Velocidad mínima y purga automática ante parada

Purga automática iniciada  $< 60$  s

### G3 Detener el sistema en forma segura

Secuencia de parada de emergencia y confinamiento del volumen de línea

Parada secuenciada sin golpe de ariete

### G4 Detectar pérdidas de contención

Balance de caudal y presión por tramo

Fuga  $> 2$  % del caudal detectada  $< 5$  min

# 17 funciones definidas sobre una única función principal

---

**01**

función principal

**07**

funciones secundarias

**09**

funciones de apoyo

---

Siguiente paso del taller: asignar costo a cada función y evaluar alternativas que la cumplan al menor costo de ciclo de vida.

MÓDULO 03 — FASE DE ESPECULACIÓN

## Generar alternativas **sin** **evaluarlas todavía**



No se juzga ninguna idea durante la fase

Se busca cantidad: el volumen produce calidad

Se construye sobre las ideas de los demás

Toda idea se registra en la lista de trabajo

El facilitador mantiene el foco en la función

## MÓDULO 03 – EVALUACIÓN

# Matriz ponderada de alternativas

| CRITERIO                 | PESO % | ALT. A      | ALT. B      | ALT. C      | BASE        |
|--------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Impacto en CAPEX         | 30     | 4           | 5           | 3           | 3           |
| Impacto en OPEX          | 25     | 5           | 3           | 4           | 3           |
| Riesgo operacional       | 20     | 3           | 4           | 4           | 3           |
| Constructibilidad        | 15     | 4           | 3           | 5           | 3           |
| Cumplimiento ambiental   | 10     | 4           | 4           | 4           | 4           |
| <b>Puntaje ponderado</b> | 100    | <b>4,05</b> | <b>4,10</b> | <b>3,80</b> | <b>3,10</b> |

Los pesos se acuerdan antes de puntuar, nunca después de ver los resultados.

## MÓDULO 03 — COSTO-BENEFICIO

# La decisión se toma sobre el ciclo de vida completo

### CAPEX

#### Inversión inicial

Equipos, obras, montaje, ingeniería y contingencia asociada.

### OPEX

#### Operación y mantenimiento

Energía, insumos, dotación, repuestos y paradas programadas.

### Cronograma

#### Tiempo a producción

Adelanto o retraso del primer ingreso y su efecto en el VAN.

### Cierre

#### Desmantelamiento

Costo de cierre, remediación y compromisos ambientales.

Toda alternativa que llega a desarrollo se lleva a boceto, estimación de costos y validación técnica para verificar si los supuestos del taller se sostienen.

EJERCICIO 03 — 10 MINUTOS

# Construye el FAST de un sistema de manejo de mineral



03

**Paso 01**

## Identificar la función básica

Dos palabras: verbo activo y sustantivo medible.

**Paso 02**

## Desplegar funciones secundarias

Preguntando cómo hacia la derecha, por qué hacia la izquierda.

**Paso 03**

## Marcar dónde está el costo

Asignar el costo estimado a cada función del mapa.

**Paso 04**

## Generar dos alternativas

Sobre la función con mayor costo y menor aporte.

# Lienzo FAST — verbo activo + sustantivo medible

Sistema \_\_\_\_\_ Grupo \_\_\_\_\_

← POR QUÉ

CÓMO →

FUNCIÓN BÁSICA

SECUNDARIAS

SECUNDARIAS

DE APOYO

Costo estimado

Costo

Costo

Costo

Costo

Costo

Costo

FUNCIÓN CON MAYOR COSTO Y MENOR APOORTE

ALTERNATIVA A

ALTERNATIVA B

MÓDULO

# 04

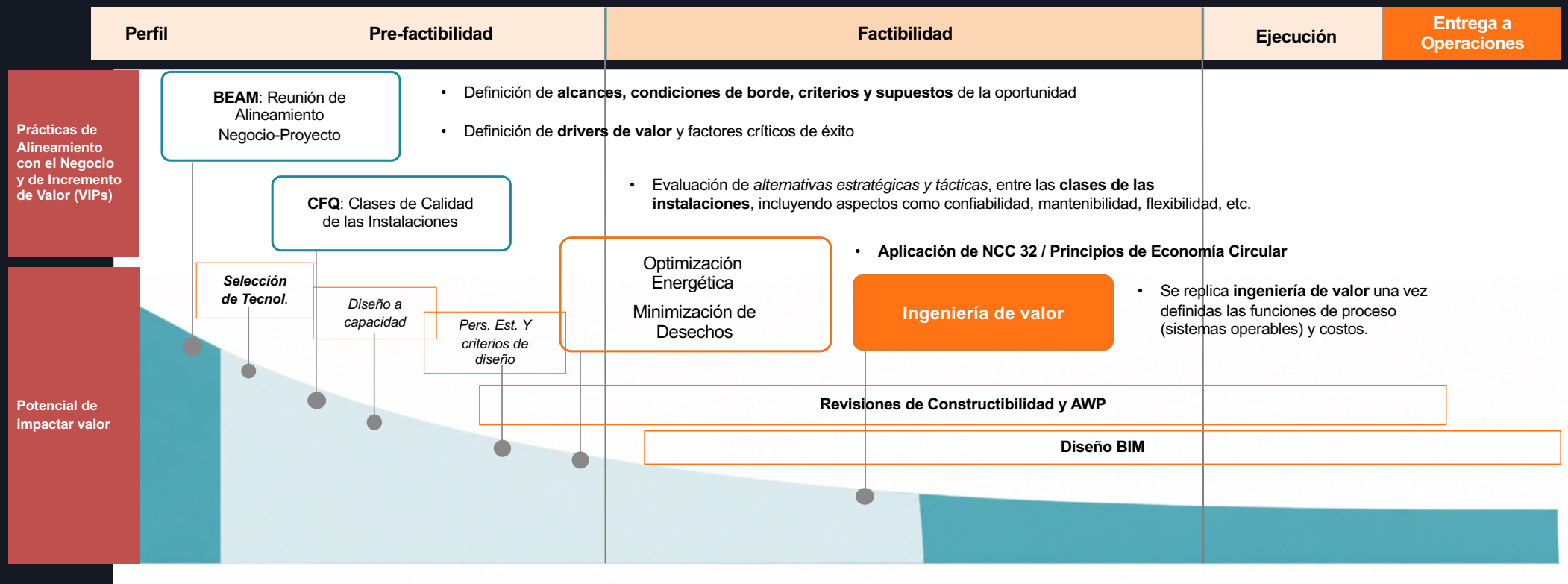
## Aplicación de la Ingeniería de Valor en el ciclo FEL

Cuándo aplicarla, con qué VIP se combina y hasta cuándo sirve.



MÓDULO 04 – VENTANA DE DECISIÓN

# CODELCO : Aplicación de VIP - según la etapa del proyecto



Fuente: IPA – Presentación Éxito en Proyectos de Inversión – Prácticas de Incremento de Valor – Chile, 2009. (ESTANDAR VIP COLDECO)

## MÓDULO 04 — OPORTUNIDAD

# Dónde entra VE en el proceso FEL

**FEL 1****Evaluación de oportunidad**

Se definen objetivos de negocio y criterios de valor. La Ingeniería de Valor todavía no tiene base de diseño que analizar.

**FEL 2****Selección de alternativa**

Simplificación de Procesos alinea el diseño con los objetivos del negocio. VE puede revisar los elementos que conforman la base del diseño.

**FEL 3****Definición del proyecto**

Momento óptimo de la Ingeniería de Valor: hay suficiente detalle para el análisis funcional y todavía se puede cambiar el diseño.

**Ejecución****Ingeniería de detalle y construcción**

Cada cambio implica rediseño, órdenes de cambio y reclamos. El estudio deja de ser rentable.

EJERCICIO 04 — 5 MINUTOS

04

## Ubica tu proyecto en la ventana de decisión

### ¿En qué etapa está?

FEL 1, FEL 2, FEL 3 o ejecución. Sé exacto: la etapa declarada y la etapa real suelen diferir.

### ¿Qué puedes cambiar todavía?

Lista tres decisiones de diseño que aún no estén comprometidas por contrato o compra.

### ¿Cuándo sería el taller?

Fija una fecha antes del próximo hito de estimación o de autorización de fondos.

# Ventana de decisión de mi proyecto

Proyecto \_\_\_\_\_

MARCA LA ETAPA REAL DEL PROYECTO

☐ FEL 1

☐ FEL 2

☐ FEL 3

☐ Ejecución

☐ Operación

## Tres decisiones de diseño aún no comprometidas

Sin contrato firmado ni compra colocada

01 \_\_\_\_\_

02 \_\_\_\_\_

03 \_\_\_\_\_

## Próximo hito de estimación o autorización

\_\_\_\_\_

## Fecha comprometida del taller

\_\_\_\_\_

MÓDULO

# 05 Implementación, seguimiento e indicadores de desempeño

Cómo se convierte una recomendación en ahorro registrado.



## MÓDULO 05 — DEL INFORME A LA OBRA

# El producto final es una decisión, no un informe

El equipo presenta sus hallazgos a quienes deciden — gatekeeper o equipo directivo— y explica qué ideas merecen implementarse. Los decisores aseguran que las ideas aprobadas se incorporen efectivamente al proyecto.

Recién entonces se cuantifica el ahorro generado, sobre las recomendaciones realmente incorporadas.

01 Informe formal del estudio de valor

02 Presentación a los responsables de decidir

03 Decisión registrada por cada idea: acepta, difiere o descarta

04 Plan de implementación con responsable y fecha

05 Ahorro incorporado a la estimación de control

MÓDULO 05 — ENTREGABLE

# Registro de resultados del estudio

| SISTEMA   | DISCIPLINA | IDEA DE VALOR                                                    | CATEGORÍA  | AHORRO POTENCIAL | PROBABILIDAD | TIPO DE ESTIMACIÓN | AHORRO PONDERADO |
|-----------|------------|------------------------------------------------------------------|------------|------------------|--------------|--------------------|------------------|
| Chancado  | Mecánica   | Eliminar el chancado terciario ajustando el circuito de molienda | CAPEX      | 8,4 MUSD         | 60%          | Plan propuesto     | 5,0 MUSD         |
| Relaves   | Procesos   | Recircular agua de proceso desde el espesador existente          | OPEX       | 1,2 MUSD/a       | 80%          | Benchmarking       | 1,0 MUSD/a       |
| Eléctrico | Eléctrica  | Reubicar la sala eléctrica junto al centro de carga              | CAPEX      | 2,1 MUSD         | 50%          | Juicio experto     | 1,1 MUSD         |
| Accesos   | Civil      | Reducir el estándar del camino de acceso secundario              | Cronograma | 3 semanas        | 70%          | Orden de magnitud  | 2 semanas        |

Cifras ilustrativas. El ahorro ponderado es el potencial multiplicado por la probabilidad de éxito de la idea.

## MÓDULO 05 — INDICADORES

# Cómo se mide el impacto del estudio

### ROI del estudio

Ahorro implementado dividido por el costo total del estudio.

### Tasa de implementación

Ideas incorporadas al proyecto sobre ideas recomendadas.

### Ahorro ponderado

Potencial ajustado por probabilidad de éxito, por categoría.

### Impacto en OPEX

Variación del costo operativo anual proyectado.

### Efecto en cronograma

Semanas ganadas o perdidas en la ruta crítica.

### Ahorro en la estimación

La única cifra que confirma que el valor llegó al presupuesto.

**NOTA:** en el Taller se llega a una estimación CLASE 5

**MÓDULO 05 – INDICE**

# Indice de Informe Final



1. Resumen ejecutivo
2. Introducción y antecedentes del proyecto
3. Objetivos y alcance del estudio
4. Metodología aplicada (Fases: Información, Análisis Funcional, Creatividad, Evaluación, Desarrollo, Presentación)
5. Descripción del diseño/proyecto base (línea base de costos y alcance)
6. Análisis funcional (diagrama FAST y costos por función)
7. Modelo de costos (Cost Model)
8. Generación de ideas (lluvia de ideas / creatividad)
9. Evaluación y selección de alternativas
10. Propuestas de valor desarrolladas (una ficha por cada propuesta: descripción, ventajas/desventajas, comparación de costos, riesgos)
11. Resumen de ahorros y beneficios estimados
12. Plan de implementación y responsables
13. Conclusiones y recomendaciones
14. Anexos (matrices, cálculos, planos, actas del taller VE, participantes)

MÓDULO 05 — ADVERTENCIAS

# Cinco razones por las que un estudio no produce valor

- 
- 01 Se aplica demasiado tarde, cuando el diseño ya está comprometido. (Ingeniería de Detalle)
  - 02 El facilitador pertenece al equipo que diseñó la solución.
  - 03 Se salta el análisis funcional y se pasa directo a proponer soluciones.
  - 04 Falta el representante de operaciones o el estimador de costos.
  - 05 Nadie hace seguimiento: las ideas aprobadas nunca llegan al diseño.
-



Definición de estructuras



Ubicación del WRF



Tipo de chancador y ubicación



Transporte de material (*overland conveyor vs camiones*)



Tecnología de relaves y ubicación de relaves



Transporte de agua / relaves



Tecnologías de reducción de emisiones



Selección de tecnología



Selección de transporte de concentrado



Transporte de mineral

CASO INTEGRADOR — GRUPOS DE 2 O 3 PERSONAS

05

# Expansión de la Concentradora Alto Andino

## DATOS DEL PROYECTO

|                     |                                          |
|---------------------|------------------------------------------|
| Alcance             | Ampliar de 45.000 a 60.000 t/d           |
| Etapas actual       | Inicio de FEL 3                          |
| CAPEX estimado      | 240 MUSD — Clase II                      |
| Emplazamiento       | 4.100 msnm, sierra norte                 |
| Plazo comprometido  | 30 meses hasta puesta en marcha          |
| Objetivo de negocio | Reducir el costo unitario de tratamiento |
| OPEX incremental    | 46 MUSD/año · energía 0,07 USD/kWh       |
| Base de evaluación  | 10 años · tasa de descuento 10%          |

## CAPEX POR SISTEMA — MUSD

|                                     |            |             |
|-------------------------------------|------------|-------------|
| Molienda y clasificación            | 88         | 37%         |
| Chancado y transporte de mineral    | 46         | 19%         |
| Agua y espesamiento de relaves      | 39         | 16%         |
| Suministro y distribución eléctrica | 28         | 12%         |
| Obras generales y montaje           | 22         | 9%          |
| Indirectos y contingencia           | 17         | 7%          |
| <b>Total</b>                        | <b>240</b> | <b>100%</b> |

## RESTRICCIONES

- Derechos de agua fresca sin ampliación posible
- Conexión eléctrica disponible recién en el mes 18
- La operación no puede detenerse durante el montaje

CASO INTEGRADOR — 25 MINUTOS DE TRABAJO + 10 DE PLENARIA

ROLES EN EL GRUPO

Facilitador · Especialista técnico · Estimador

## Ejecuten un estudio de valor en miniatura

Paso 01 · 4 min

### Elegir el sistema

Seleccionen uno de los cuatro sistemas del alcance y justifiquen por qué concentra costo.

Paso 02 · 5 min

### Nombrar funciones

Función básica y dos secundarias, en verbo activo más sustantivo medible.

Paso 03 · 7 min

### Especular

Generen al menos seis ideas sin evaluarlas. Registren todas, incluidas las descartables.

Paso 04 · 6 min

### Evaluar

Lleven las tres mejores a la matriz ponderada con los criterios del módulo 3.

Paso 05 · 3 min

### Recomendar

Una idea, su ahorro ponderado y el riesgo que asume el proyecto al adoptarla.

## CASO INTEGRADOR — ENTREGABLE

### Ficha de recomendación del grupo

|                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| SISTEMA          | Escribir aquí             |
| FUNCIÓN BÁSICA   | Verbo + sustantivo        |
| IDEA RECOMENDADA | Una sola, en una frase    |
| CATEGORÍA        | CAPEX · OPEX · Cronograma |
| AHORRO POTENCIAL | MUSD o semanas            |
| PROBABILIDAD     | % de éxito estimado       |
| AHORRO PONDERADO | Potencial × probabilidad  |

## CÓMO SE EVALÚA LA RECOMENDACIÓN

- 01 La función está redactada en dos palabras y es medible
- 02 La idea reduce costo sin eliminar la función requerida
- 03 Respeta las tres restricciones declaradas del caso
- 04 El ahorro está ponderado y no solo declarado
- 05 El grupo puede nombrar quién implementaría la idea y cuándo

# Sistema, función e ideas generadas

Grupo \_\_\_\_\_ Sala \_\_\_\_\_

SISTEMA ELEGIDO

CAPEX DEL SISTEMA

FUNCIÓN BÁSICA (2 PALABRAS)

CÓMO SE MIDE

| N° | IDEA GENERADA | CATEGORÍA | AHORRO CAPEX | AHORRO OPEX/AÑO |
|----|---------------|-----------|--------------|-----------------|
| 01 |               |           |              |                 |
| 02 |               |           |              |                 |
| 03 |               |           |              |                 |
| 04 |               |           |              |                 |
| 05 |               |           |              |                 |
| 06 |               |           |              |                 |

# Matriz ponderada y ahorro recomendado

Puntúa cada idea de 1 a 5 Ponderado =  $\Sigma (\text{peso} \times \text{puntaje}) \div 100$

| CRITERIO               | PESO | IDEA N° | IDEA N° | IDEA N° |
|------------------------|------|---------|---------|---------|
| Impacto en CAPEX       | 30   |         |         |         |
| Impacto en OPEX        | 25   |         |         |         |
| Riesgo operacional     | 20   |         |         |         |
| Constructibilidad      | 15   |         |         |         |
| Cumplimiento ambiental | 10   |         |         |         |
| Puntaje ponderado      | 100  |         |         |         |

IDEA RECOMENDADA Y CONDICIÓN PARA IMPLEMENTARLA

Ahorro de ciclo de vida (MUSD)

Probabilidad de implementación (%)

Ahorro ponderado (MUSD)

SOLUCIÓN DE REFERENCIA — PASOS 01 A 03

CAPEX · 88 MM

MUSD · 37% del CAPEX

## Sistema elegido: molienda y clasificación

**BÁSICA** Liberar mineral

**SECUNDARIAS**

Clasificar partículas · Transportar pulpa

**MEDIDA**

80% -75 µm a 60.000 t/d

| N° | IDEA GENERADA EN ESPECULACIÓN                                     | CATEGORÍA    | AHORRO BRUTO<br>(CLASE 5) |
|----|-------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------|
| 01 | Pre-molienda con HPGR en lugar del segundo molino de bolas        | CAPEX + OPEX | 8,7 + 1,4/año             |
| 02 | Repotenciar el molino SAG existente y diferir la línea nueva      | CAPEX        | 5,2                       |
| 03 | Nave de molienda modular prefabricada, montaje a 4.100 msnm       | Cronograma   | 6 semanas                 |
| 04 | Batería de hidrociclones de alta eficiencia en vez de nueva etapa | CAPEX        | 2,4                       |
| 05 | Revestimientos híbridos caucho-metal para reducir paradas         | OPEX         | 0,6/año                   |
| 06 | Reducir el puente grúa de 120 a 80 t según la pieza mayor real    | CAPEX        | 0,9                       |

En especulación nada se descarta ni se cuantifica con precisión: las cifras son órdenes de magnitud para priorizar qué pasa a evaluación.

## SOLUCIÓN DE REFERENCIA — PASOS 04 Y 05

# Evaluación ponderada y recomendación

| CRITERIO                 | PESO       | IDEA 01     | IDEA 02     | IDEA 03     |
|--------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Impacto en CAPEX         | 30         | 5           | 4           | 3           |
| Impacto en OPEX          | 25         | 5           | 2           | 3           |
| Riesgo operacional       | 20         | 3           | 2           | 4           |
| Constructibilidad        | 15         | 3           | 4           | 5           |
| Cumplimiento ambiental   | 10         | 4           | 3           | 4           |
| <b>Puntaje ponderado</b> | <b>100</b> | <b>4,20</b> | <b>3,00</b> | <b>3,60</b> |

## IDEA RECOMENDADA — PRE-MOLIENDA CON HPGR

|                                                             |                |
|-------------------------------------------------------------|----------------|
| 1. CAPEX del sistema: 88,0 → 79,3                           | 8,7 MUSD       |
| a. Energía: $-1,4 \text{ kWh/t} \times 21,0 \text{ Mt/año}$ | -2,06 MUSD/año |
| b. Mayor mantenimiento de rodillos                          | +0,66 MUSD/año |
| 2. OPEX neto, valor presente 10 años al 10% (a y b VP)      | 8,6 MUSD       |
| 3. Ahorro de ciclo de vida (1+2)                            | 17,3 MUSD      |
| 4. Probabilidad de implementación                           | 65%            |

**Ahorro ponderado (3 x 4) 11,2 MUSD**

**Costo del estudio de valor: 0,05 MUSD  
retorno 224:1**

06

# Síntesis, checklist ASTM E1699 y plan de acción



## MÓDULO 06 — CHECKLIST ASTM E1699

## Doce verificaciones para auditar un estudio de valor

- |                                                                                            |                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> El estudio se ejecutó dentro de la etapa FEL correspondiente      | <input type="checkbox"/> Existe un proceso de trabajo formal y repetible documentado      |
| <input type="checkbox"/> El facilitador es externo al equipo del proyecto                  | <input type="checkbox"/> Participaron todas las funciones exigidas del proyecto           |
| <input type="checkbox"/> La información requerida estaba completa antes del taller         | <input type="checkbox"/> Se registró el número de sesiones realizadas                     |
| <input type="checkbox"/> Se aplicó análisis funcional con verbo y sustantivo medible       | <input type="checkbox"/> Se construyó un diagrama FAST del sistema estudiado              |
| <input type="checkbox"/> Existe una lista de trabajo con todas las ideas generadas         | <input type="checkbox"/> Las alternativas se evaluaron con criterios ponderados acordados |
| <input type="checkbox"/> Cada recomendación tiene responsable, fecha y decisión registrada | <input type="checkbox"/> El ahorro se incorporó a la estimación de control del proyecto   |

## MÓDULO 06 — PLAN DE ACCIÓN

# Los próximos treinta días

### Semana 1

#### Diagnóstico

Identifica el proyecto candidato, su etapa FEL real y la ventana de decisión que queda abierta.

### Semanas 2 y 3

#### Preparación

Convoca al equipo, asegura al facilitador externo y completa el paquete de información requerido.

### Semana 4

#### Taller

Ejecuta el estudio en días continuos y cierra con el registro de ideas y su plan de implementación.

## MÓDULO 06 – SÍNTESIS

## ¿Qué hemos aprendido hoy?

01

**Valor no es costo**

La Ingeniería de Valor elimina costo que no compra función; un recorte elimina alcance. Son cosas distintas y se defienden distinto.

02

**Un estudio se organiza, no se improvisa**

Job plan de seis fases, equipo multidisciplinario con facilitador externo y un paquete de información cerrado antes del taller.

03

**La función es la unidad de análisis**

Verbo activo más sustantivo medible, FAST para ordenar el cómo y el por qué, y el costo asignado a cada función para saber dónde mirar.

04

**El momento decide el resultado**

Al cerrar FEL 3 ya está comprometido cerca del 80% del costo. Antes de la estimación de autorización todavía se puede cambiar barato.

05

**Se decide con criterios explícitos**

Matriz ponderada acordada antes de puntuar y costo de ciclo de vida: lo más barato de construir puede ser lo más caro de operar.

06

**El ahorro solo existe si se implementa**

Responsable, fecha y decisión registrada por idea. Si no bajó a la estimación de control del proyecto, no ocurrió.

MÓDULO

# 07 ¿Cómo sistematizar las VIPs?

---

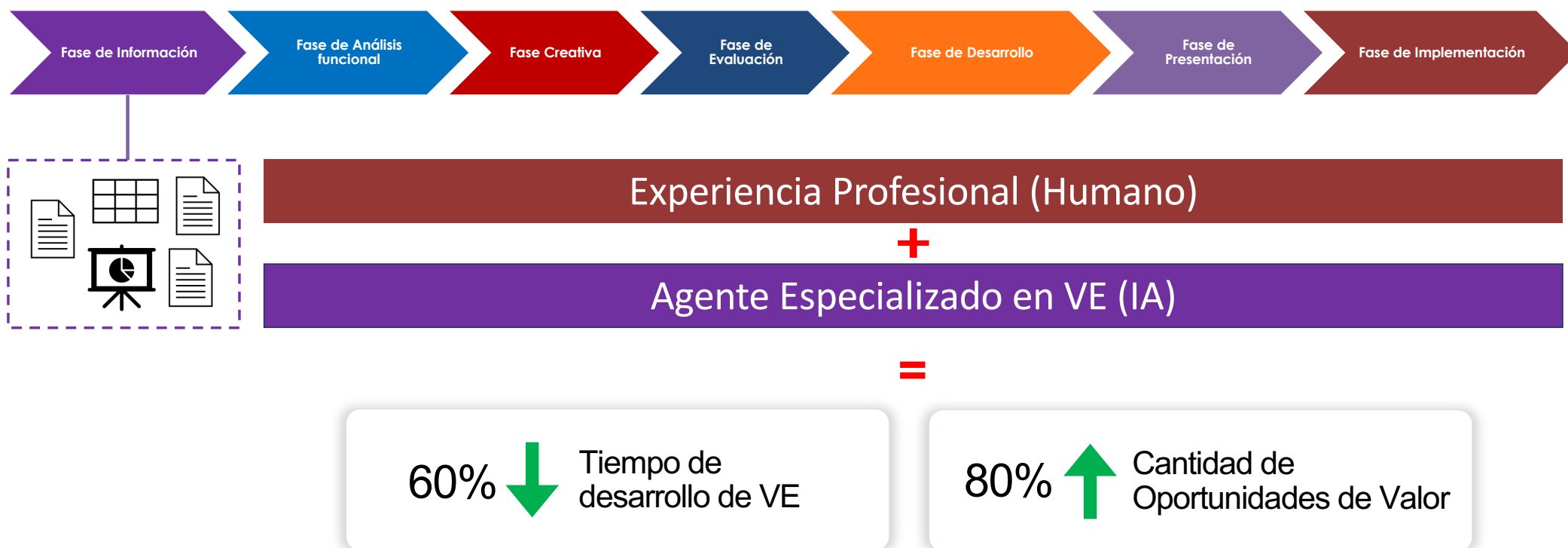




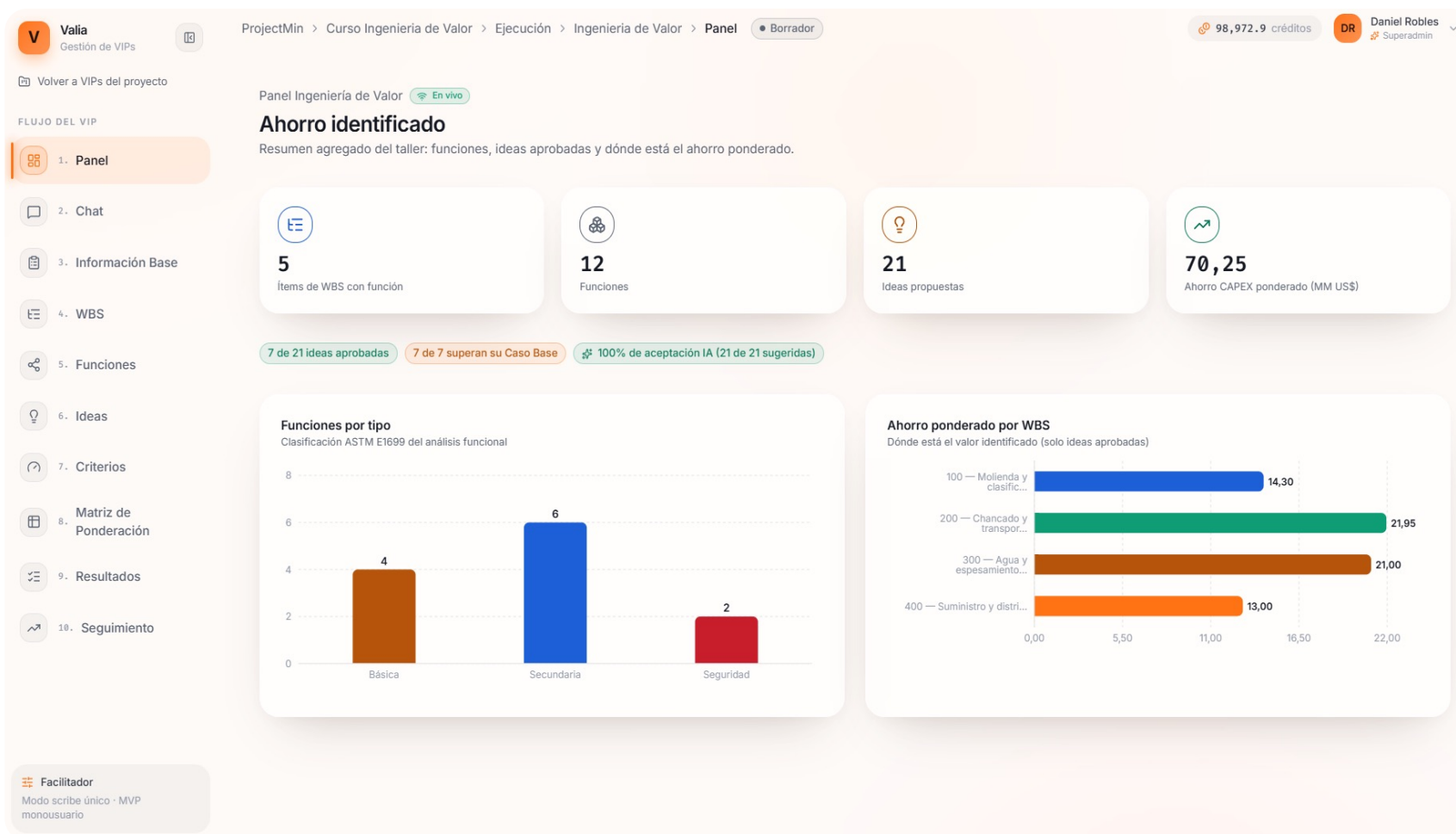
## Data e Inteligencia Artificial

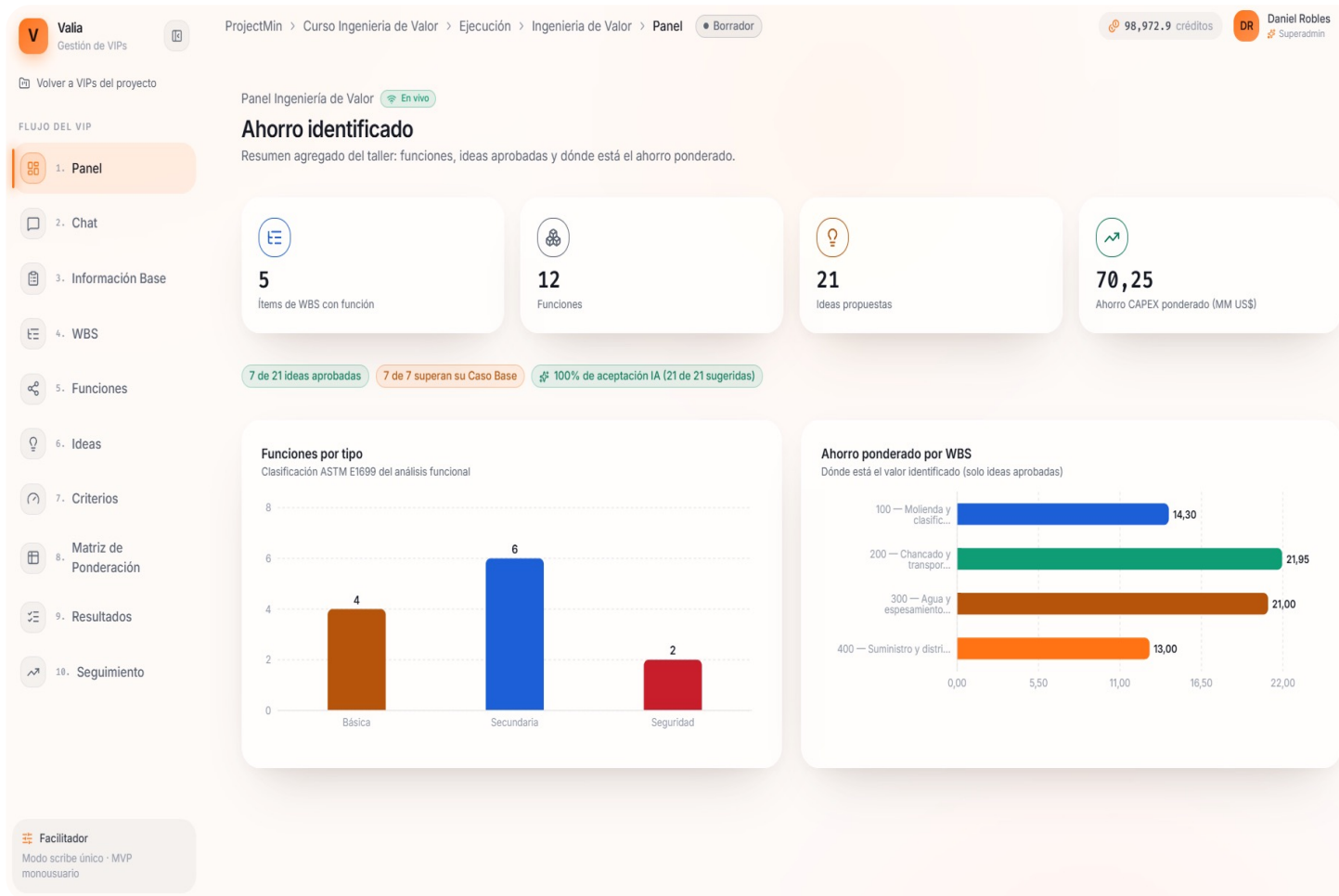
Ecosistemas de datos y analítica avanzada que agilizan el flujo de su operación.

## Proceso de Ingeniería de Valor



**¿Cómo **Zenik** tuvo esos  
resultados?**





- ✓ Gestiona las VIPs de tus proyectos.
- ✓ Asistencia con IA.
- ✓ Comparte conocimiento entre tus proyectos.
- ✓ Haz seguimiento de compromisos.
- ✓ Dashboard en tiempo real.

**¿Qué procesos se pueden  
simplificar en mi organización?**



**Proyect**Min



**iNVA**®

**Contáctanos**

**ROBERTO MARTINEZ**

DIRECTOR DE NEGOCIOS CHILE

Roberto.Martinez@invaglobal.com

+56 971080892

WWW.INVAGLOBAL.COM

**Contáctanos**

**FREDY ALEJANDRO**

DIRECTOR GENERAL

Fredy.alejandro@invaglobal.com

+51 940 148 551

WWW.INVAGLOBAL.COM



**GESTIÓN DE MEGAPROYECTOS MINEROS:**  
**CÓMO APLICAR INGENIERÍA DE VALOR PARA OPTIMIZAR TU PROYECTO MINERO**

**¡GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!**

**FACILITADOR**  
**FREDY ALEJANDRO**

**ProjectMin**

**INVA**