



# BRÚJULA



## Confiabilidad Operacional durante el Ciclo de Vida: Aplicación y resultados del Enfoque RMES en Planta de Conminución

rmes analytics



**Adolfo Arata Andreani**

Director RMES Analytics  
Prof. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

1

## Los problemas del desarrollo y de los resultados de Proyectos de Inversión: Ausencia del análisis de la Confiabilidad Operacional



Experiencia en el desarrollo de proyectos industriales ha demostrado que existen una problemas importantes en las estimaciones, generando:

- Incremento importante de los costos de los proyectos, llegando en algunos casos hasta la duplicación de los CAPEX.
- Incremento significativo de los tiempos para la puesta en marcha, llegando hasta superar en un 30% el tiempo previsto
- Incremento sustancial para lograr la condición de régimen, llegando a superar en un 75% del tiempo previsto

Los problemas no son causados por errores en las tecnologías, las especificación y la selección de los equipos. Fundamentalmente son producto de inconvenientes por el mal desempeño de los equipos y las instalaciones

La solución es incorporar los principios de la Confiabilidad Operacional, para definir la topología que asegure la Disponibilidad y la Utilización prevista de plantas y flotas, de forma de lograr la viabilidad económica del proyecto exigida por los inversionistas, respetando las exigencias tecnológicas de los procesos, de manera de reducir los costos globales durante todo el ciclo de vida de los activos físicos (LCC)

© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

2

## La Confiabilidad Operacional de los activos es un factor clave de la productividad.



La productividad de las compañías intensivas en activos depende, en gran medida, del desempeño de sus activos. La Confiabilidad Operacional entrega un marco conceptual para asegurar e incrementar el desempeño esperado de equipos e instalaciones, bajo el principio de la búsqueda de la solución óptima que integra las distintas funciones, en beneficio del negocio durante la vida de los activos, superando la visión Tayloriana

### Creación de valor

$EVA = (ROIC - WACC) \times \text{Capital}$   
 Creación de valor cuando el resultado sobre el capital (ROIC) es mayor que el costo de capital (WACC)

### Análisis Operacional y Financiero

$ROIC = EBIT \times (1-t) / \text{Capital}$   
 $EBIT = \text{Producción} \times \text{Precio} - \text{Costos}$   
 $\text{Producción} = OEE \times \text{Capacidad} \times \text{Tiempo operación}$   
 $OEE = \text{Disponibilidad, Utilización} \times \text{Eficiencia} \times \text{Calidad}$

### Maximización de la Productividad

Reducción de Costos (CAPEX y OPEX)  
 Aumento de Run Time (Reducción CF)



© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

3

## Las oportunidades de mejora requieren una mirada de todo el ciclo de vida, considerando los costos globales



Integrar la confiabilidad del proceso y la confiabilidad operacional en etapas tempranas del diseño, permite lograr el mayor impacto en el costo global, incluyendo CAPEX, OPEX y costo de la falta esperado (CF).

**Costos durante el ciclo de vida (LCC)**

<b>Inversión (CAPEX)</b> (infraestructura, equipos, facilities, ingeniería)	+	<b>Costo total de operación (OPEX)</b> (costo producción y mantenimiento directo)	trade off	<b>Costo de falta (CF)</b> (pérdida de producción por inutilización)
--	---	--	-----------	---

<b>Disminución del costo de inversión</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Menor redundancia</li> <li>Menor confiabilidad y mantenibilidad</li> <li>Capacidad de diseño ajustada</li> </ul>	<b>Disminución del costos de operación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Estrategia de mantenimiento</li> <li>Costos operacionales</li> </ul>	<b>Disminución del costo de la falta</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Incremento de la disponibilidad (mayor redundancia, conF&amp; mant)</li> <li>Mejoramiento de la gestión de activos</li> </ul>
---	--	---

$R = Pb \times Cs$

R: Riesgo  
 Pb: Prob. ocurrencia evento  
 Cs: Consecuencia evento

$CF = (Pe - Cv) / t$

cf: Costo de falta específico  
 Pe: Pérdida de producción  
 Cv: Costos variables  
 t: Tiempo

$CF = cf \cdot (1 - A) \cdot T$

CF: Costo de Falta  
 A: Disponibilidad  
 T: Tiempo producción

**Actividades de la Confiabilidad Operacional**

Medir	Controlar	Mejorar	Proyectar
-------	-----------	---------	-----------

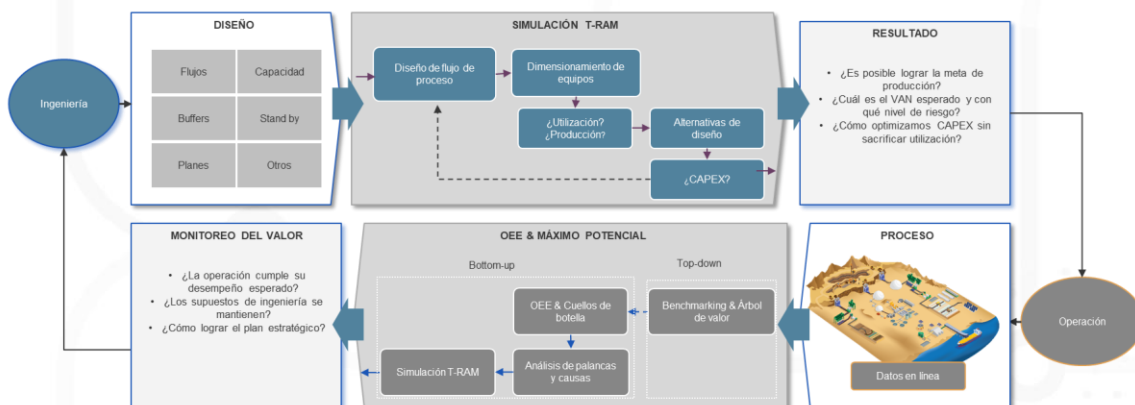
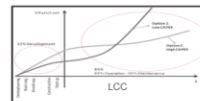
© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

4

# La Confiabilidad Operacional es el enfoque que mejora el desempeño de las instalaciones durante todo el ciclo de vida. Desde el proyecto hasta la operación



La Confiabilidad Operacional, con un enfoque integrado (LCC), busca identificar y resolver las criticidades a nivel del proyecto y de la gestión de los activos físicos, para mejorar el desempeño de los equipos en beneficio del negocio, con un enfoque sistémico, eliminando las brechas entre lo proyectado y el full potencial durante la operación



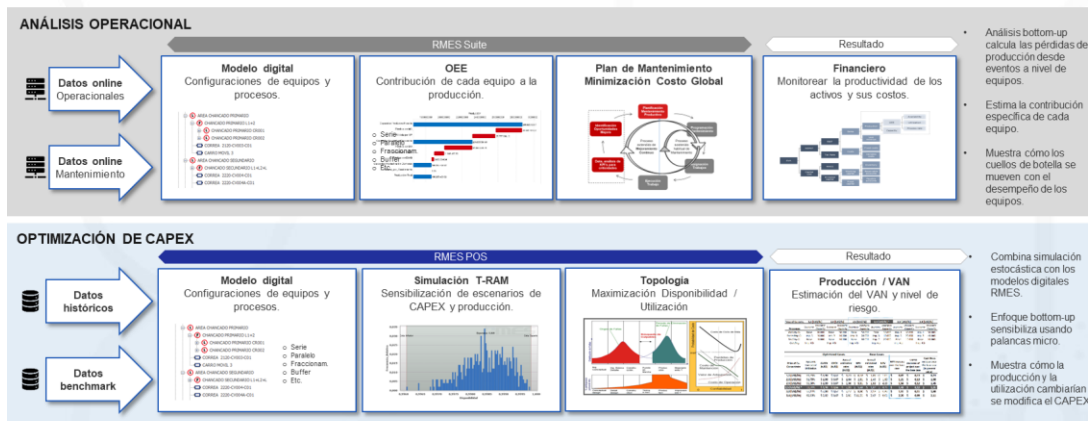
© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

5

## La Confiabilidad Operacional en la etapa de Proyecto y en la Operación



La Confiabilidad Operacional, mediante un análisis integrado, permite la optimización de los CAPEX a nivel de Proyecto y el desempeño de las instalaciones durante la operación (OPEX+CF), minimizando los costos globales asociados con los costos propios y los costos de oportunidad de la no producción



© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

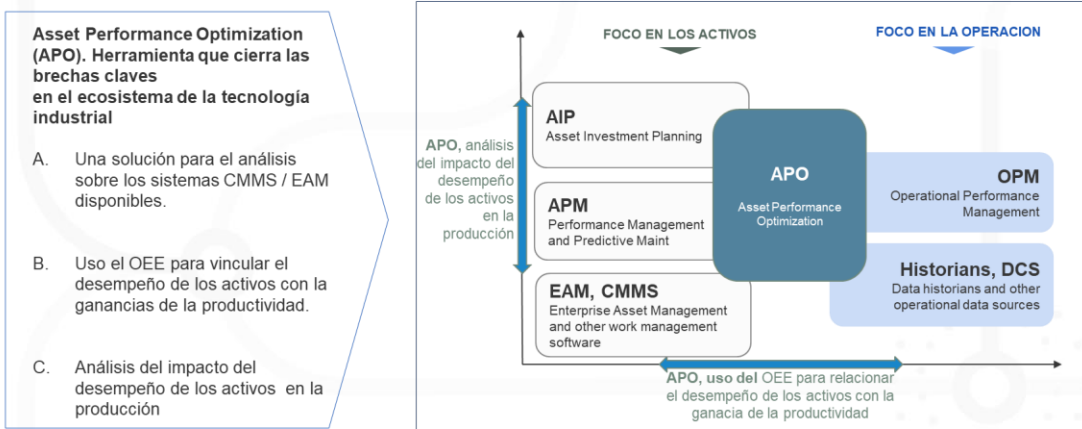
6

## El enfoque sistémico de la Confiabilidad Operacional, permite optimizar el desempeño de activos, Asset Performance Optimization (APO)



RMES corresponde a una APO, que cubre una necesidad del mercado, aportando con:

- 1) el enfoque centrado en el OEE y
- 2) la perspectiva sistémica del desempeño de los activos.



© Adolfo Arata Andreani . Todos los derechos reservados

7

## La simulación TRAM permite optimizar el desempeño de ciclo de vida.



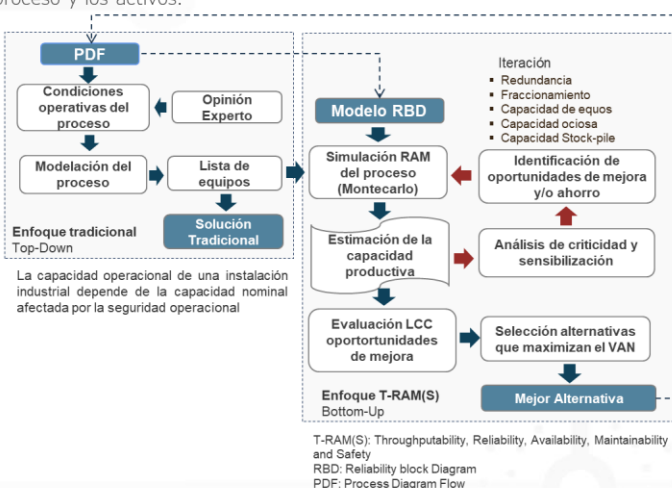
La aplicación de simulación T-RAM en fases de diseño, con RMES, permite validar, ajustar y optimizar el diseño de ingeniería, analizando los supuestos clave de la confiabilidad del proceso y los activos.

- Validar los supuestos que sostienen la proyección de throughput esperado.

Permite evaluar si los supuestos de desempeño de los equipos, redundancia del proceso, stockpiles y capacidades, soportan la producción esperada y el runtime global de la planta, y estimar con qué probabilidad se cumplirá la meta.
- Analizar distintos escenarios de diseño y anticipar cuellos de botella.

Permite simular diferentes diseños de proceso e incorporar supuestos de desempeño de equipos pesimista u optimista, anticipando potenciales cuellos de botella y actualizando los supuestos detrás de la capacidad nominal de un proceso.
- Relacionar el throughput con el CAPEX.

Permite analizar si la meta de producción será mejor lograda invirtiendo en runtime o en throughput, actualizando los supuestos de desempeño para distintos escenarios de CAPEX.



© Adolfo Arata Andreani . Todos los derechos reservados

8

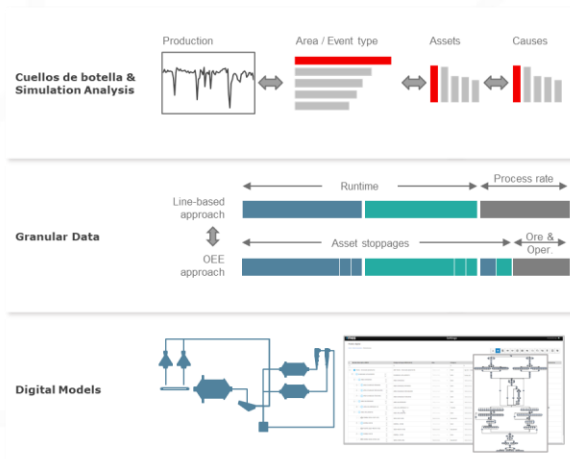
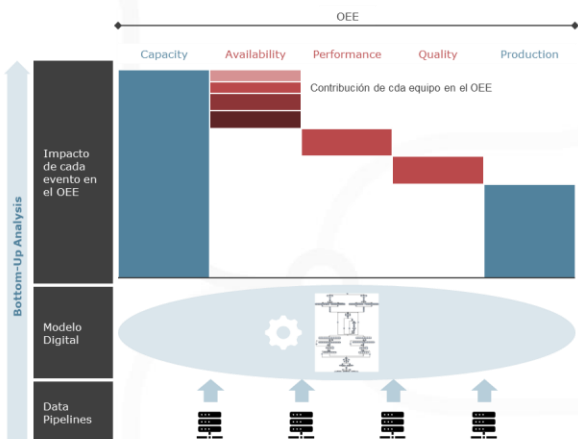
## El análisis sistémico determina el impacto de cada evento sobre el OEE.



RMES es una tecnología para analizar el desempeño de equipos y su impacto sobre los costos de la producción. Este enfoque sistémico transforma los datos en información sobre la productividad, haciendo de la gestión de los activos una gran oportunidad

...basado en modelos digitales granular data, y herramientas de simulación

### Análisis bottom-up del OEE...



© Adolfo Arata Andreani .Todos los derechos reservados

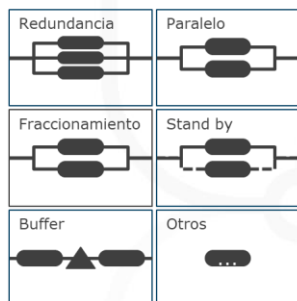
9

## Los activos y procesos se modelan a través de un modelo digital para determinar el impacto de los equipos sobre el sistema

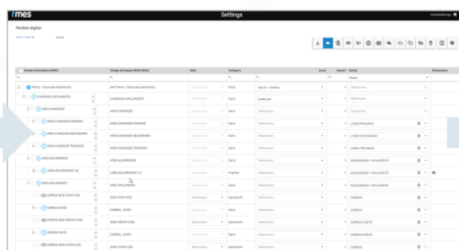


RMES permite elaborar modelos digitales de los procesos para representar las redundancias, buffers, capacidades y el impacto de cada equipo sobre la producción, determinando la propagación de las detenciones de los equipos sobre el sistema. De esta forma, es posible evaluar cómo impacta el cambio de cada variable sobre el runtime, throughput y CAPEX.

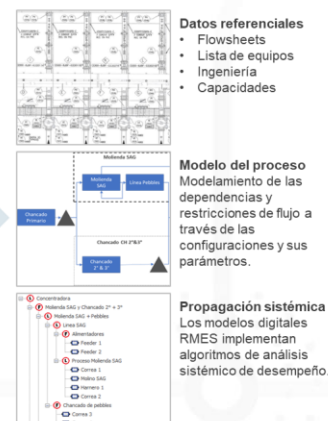
### Configuraciones lógico-funcionales (RBD)



### Herramienta para construir modelos digitales de forma rápida y robusta



### Construcción del modelo



© Adolfo Arata Andreani .Todos los derechos reservados

10

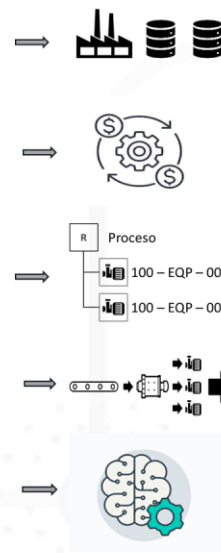
## Capacidades de RMES para aplicación de la Confiabilidad Operacional



<b>ANÁL. RUNTIME, THROUGHPUT, DISP., CONF. Y MANT.</b> PROBABILIDAD DE CUMPLIR PRODUCCIÓN ANÁLISIS DE MEJORAS DE CONFIABILIDAD	<b>IDENTIFICACIÓN CUELLOS BOTELLA</b> OPTIMIZACIÓN DE METAS SENSIBILIZACIÓN DE CAPEX Y ANAL. FINANCIERO	<b>REEMP. EQUIPOS Y REDUNDANCIA</b> OPTIMIZACIÓN DE PLANES Y ANÁLISIS DE RIESGO ANÁLISIS DE MÁXIMO POTENCIAL
--	---	--

### Capacidades::

- **Transformación de los datos** industriales históricos (Datafill), con ajuste de distribuciones, en **información** procesable que permita dar forma a programas concretos de mejoramiento continuo de los equipos y las instalaciones (**conocimiento**)
- **Equilibrar los Capex** (inversiones) más los **Opex** (MO, materiales, repuestos, terceros) con los **Costos de la falta** (riesgo) para identificar **una estrategia de diseño y gestión de los activos** que respalde los objetivos de negocio durante toda la vida de los activos
- **Simulación estocástica** a través de **modelos analíticos evitando** incurrir en **gastos** en la etapa de análisis. Ej. campo de **visión mejorado con gemelos digitales** (digital twin) y procedimientos de diseño y gestión de activos guiados
- Los **algoritmos para análisis sistémicos de escenarios** para medir el **impacto de la detención del equipo en la producción de la instalación** y su efecto en el **negocio. Análisis Bottom-Up, y de Full Pten** cial del desempeño
- El **aprendizaje automático y la inteligencia artificial** pueden **detectar la falla de los activos precozmente**



© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

11

## La metodología general de un análisis TRAM consta de 5 etapas.



RMES materializa el análisis TRAM a través de la aplicación del siguiente proceso metodológico:

Etapa	Pasos Clave			Herramientas RMES
<b>1. Comprensión</b>	Análisis de diseño de ingeniería	Identificación de redundancias y capacidades	Hito: dudas y aclaraciones de diseño	Modelo OEE
<b>2. Levantamiento de datos</b>	Recopilar datos históricos y benchmark	Recopilar datos de OEM y análisis experto	Hito: validación de supuestos y benchmarks	Datos benchmark, Módulo datafill, Modelo de tiempo
<b>3. Modelamiento del proceso</b>	Modelar eventos planificados e imprevistos	Construir un modelo digital del proceso	Hito: validación del modelo digital	Modelo digital RMES, Ajuste de curvas, Modelo OEE
<b>4. Simulación de caso base</b>	Cargar modelos y validar supuestos	Simular línea base y validar resultados	Hito: resultados de línea base	Modelo digital RMES, Análisis sistémico, Simulación Montecarlo
<b>5. Sensibilización y análisis</b>	Definir y modelar escenarios	Simular cada escenario alternativo	Hito: análisis de escenarios y resultados finales	Modelo digital RMES, Análisis sistémico, Simulación Montecarlo

© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

12

## Caso: Simulación TRAM para evaluación de Proyecto de Planta de Conminución en etapa de ingeniería de conceptual



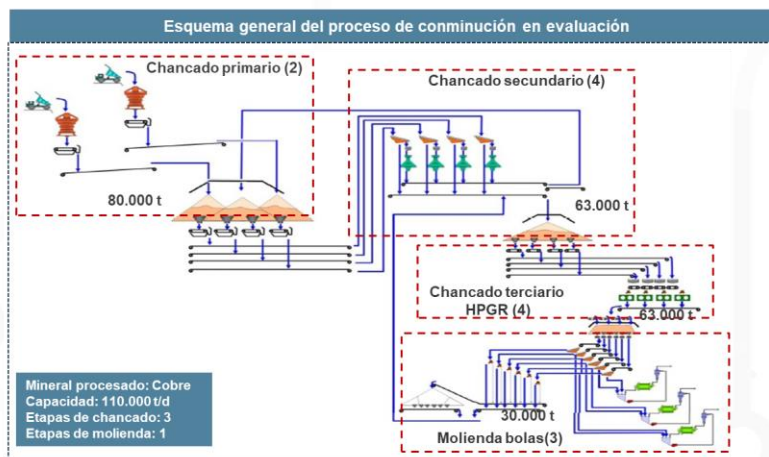
Análisis TRAM, a través de la plataforma tecnológica RMES, enfrenta el problema siguiente:

### Ojetivos

Analizar tres alternativas de solución (E01, E02 y E03) desarrolladas a nivel de ingeniería conceptual del Proyecto Conminución, determinando oportunidades de mejoras de cada una de ellas y recomendando la que ofrece el mejor desempeño operacional, con especial atención en el análisis de los stock-piles

### Objetivos particulares

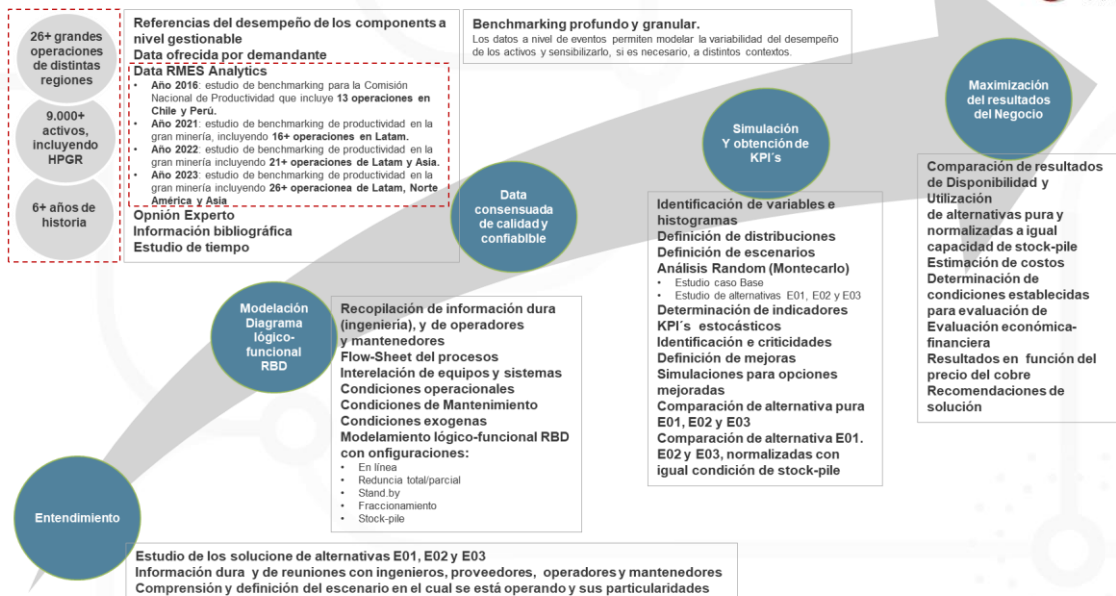
- Identificar cuellos de botella
- Determinar capacidad óptima stock-pile y bins
- Identificar oportunidades de mejoras que impacte en la capacidad de producción
- Oportunidades de ahorro en la inversión
- Evaluar escenarios y riesgos
- Determinar la mejor alternativa



© Adolfo Arata Andreani .Todos los derechos reservados



## Caso: Enfrentamiento del estudio



© Adolfo Arata Andreani .Todos los derechos reservados

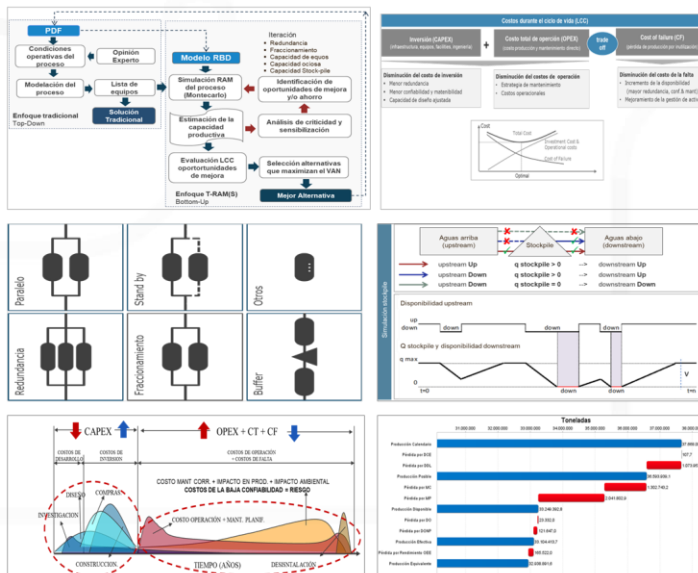


## Caso: Modelos de la plataforma digital para el análisis TRAM



Para modelación y simulación, RMES cuenta con diferentes algoritmos que le permiten realizar el análisis TRAM. Entre ellos se puede destacar:

- El análisis bottom-up orientado a determinar el impacto de las fallas y detenciones de los equipos a nivel del sistema (negocio),
- el trade-off entre los costos directos (CAPEX y OPEX) y el costo de la falta de producción por la indisponibilidad (CF),
- la modelación del proceso a través de las configuraciones de confiabilidad (RBD),
- la relación entre la capacidad de stock-pile y la disponibilidad,
- el análisis estocástico, random, a través del modelo de Montecarlo,
- el estudio de tiempo,
- la determinación de KPI's estocásticos,
- entre otros



© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados

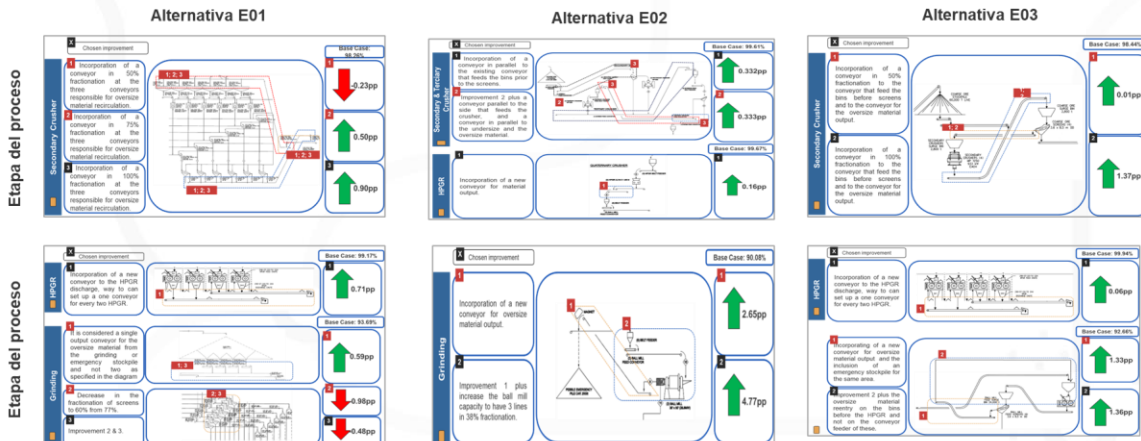


15

## Caso: Oportunidades de mejoras por alternativa en estudio para cada etapa del proceso



A partir de las criticidades (cuellos de botella), se identifican las oportunidades de mejora para cada etapa del proceso, de cada alternativa en estudio (E01, E02 y E03), determinando el impacto (pp) sobre la capacidad productiva



© Adolfo Arata Andreani. Todos los derechos reservados



16



## Caso: Síntesis de escenarios de las opciones de mejoras más convenientes



Selección de las mejoras con mayor impacto en la capacidad productiva para cada etapa del proceso de cada una de las tres alternativas en estudio

	Chancador Secundario	HPGR	Molienda
<b>EO1</b>	<b>Mejora N° 3</b> Incorporación de una correa en fraccionamiento al 100% en las 3 correas encargadas de la circulación de material sobre dimensionado	<b>Mejora N° 1</b> Incorporación de una correa en paralelo para alimentación de los bins agua abajo	<b>Mejora N° 3</b> Solo una correa de recirculación de pebble más el stockpile de emergencia y las cribas con capacidad de alimentar el 100% de los requerimientos del molino.
<b>EO2</b>	<b>Chancador Secundario + Terciario</b> <b>Mejora N° 1</b> Incorporación de una correa en paralelo a la existente que alimenta los 2 bins antes a las cribas	<b>HPGR</b> <b>Mejora N° 1</b> Incorporación de una nueva correa para salida del material	<b>Molienda</b> <b>Mejora N° 2</b> Incorporación una nueva correa salida del material sobre dimensionado y aumentar la capacidad del molino de bolas para contar con 3 líneas en fraccionamiento 38%.
<b>EO3</b>	<b>Chancador Secundario</b> <b>Improvement N° 2</b> Incorporación de una correa en fraccionamiento al 100% a la correa que alimenta los bins antes de las cribas y a la correa de salida del material sobre dimensionado	<b>HPGR</b> <b>Mejora N° 1</b> Incorporación de una nueva correa a la descarga del HPGR de forma de poder poner una correa por cada dos HPGR.	<b>Molienda</b> <b>Mejora N° 2</b> Incorporación de stockpile de emergencia del pebble y cambiar reingreso de pebble a la parte superior de los bins y no sobre la correa de alimentación

**NOTE: en adelante se identifican los casos:**  
 X.0 => Caso Base  
 X.1 => Caso Mejorado  
 X.2=> Caso Mejorado con stockpile de igual capacidad de EO1

© Adolfo Arata Andreani .Todos los derechos reservados

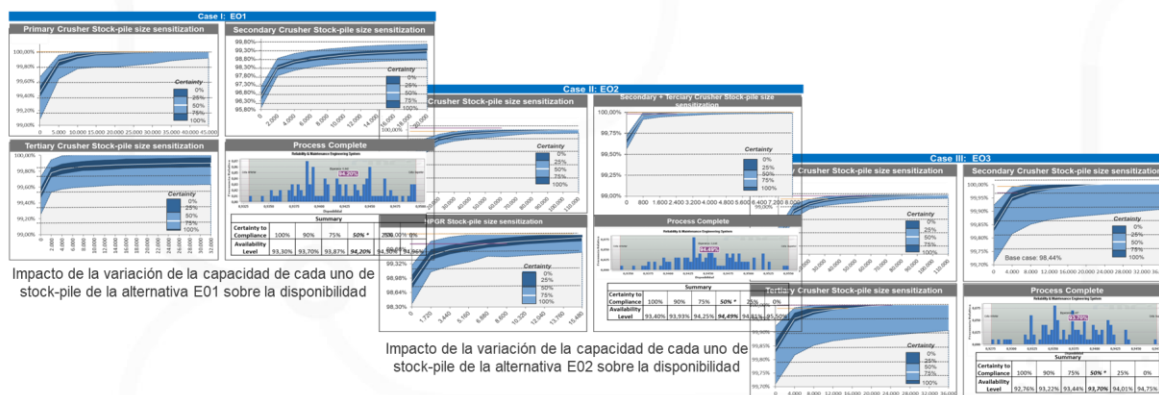


17

## Caso: Efecto de la capacidad de los stock-piles en la utilización de la Planta para las alternativas en estudio



Los stock-piles contribuyen a mejorar la disponibilidad de las instalaciones, ya que disminuyen el impacto de las detenciones aguas arriba de los procesos. A través de un análisis RMES de sensibilización de la capacidad de los stock-piles, se determina que estos presentan una sobre capacidad que aporta poco al incremento de la disponibilidad, por lo que es posible disminuir su carga viva sin alterar mayormente el desempeño de la Planta de Conminución



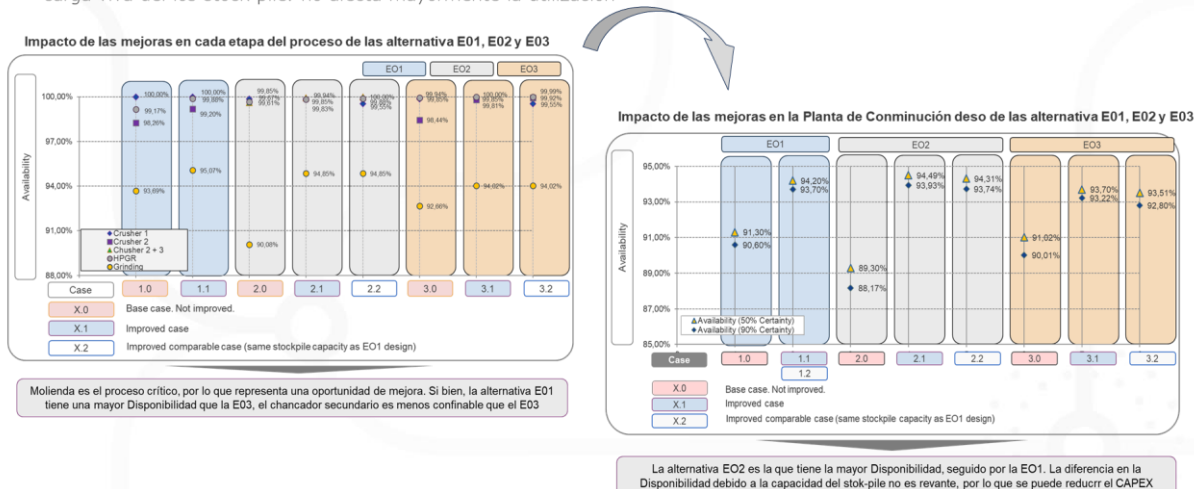
© Adolfo Arata Andreani .Todos los derechos reservados



18

## Caso: Impacto de las mejoras en la capacidad productiva de la Planta

A través de RMES se obtiene el impacto de las mejoras en la disponibilidad y la utilización (capacidad productiva) en cada área del proceso y a nivel de la Planta de Conminución. Se logra una mejora de la utilización de 3.33 pp de la alternativa E02 respecto a la E01 y de 2,62 entre la E03 y la E02. Además se observa que reducir la capacidad de carga viva del los stock-pile. no afecta mayormente la utilización



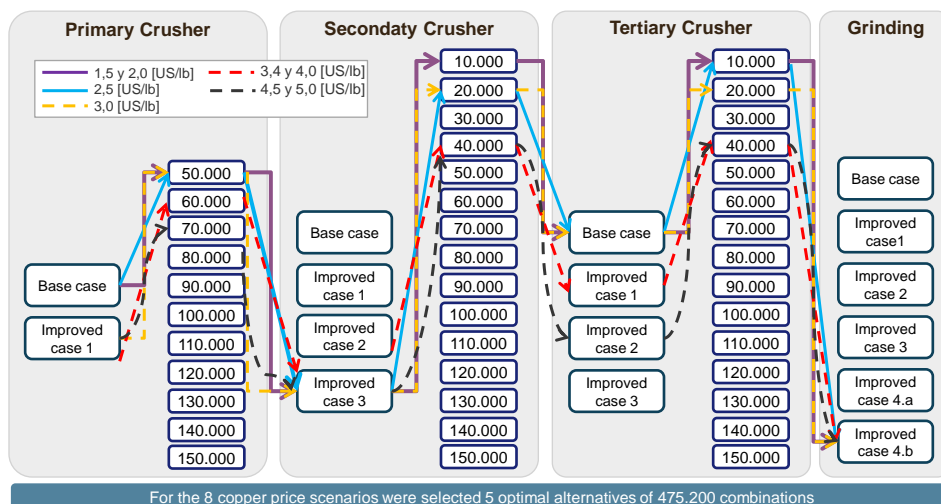
© Adolfo Arata Andreani . Todos los derechos reservados

rmes analytics

19

## Caso: Impacto del precio del cobre en el aumento del costo por redundancias

En la medida que aumenta el precio del cobre se incrementa el EBIT (Ingresos - gastos), por lo que el costo de la falta probable, por la indisponibilidad de la Planta. aumenta, justificando económicamente el aumento de los costos de gestión y/o de inversión para disminuir el riesgo de las fallas.



© Adolfo Arata Andreani . Todos los derechos reservados

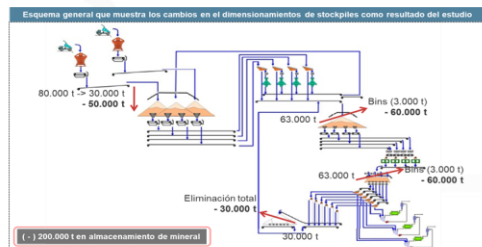
rmes analytics

20

## Caso: Resultados producto de la recomendaciones obtenidas a través del análisis TRAM

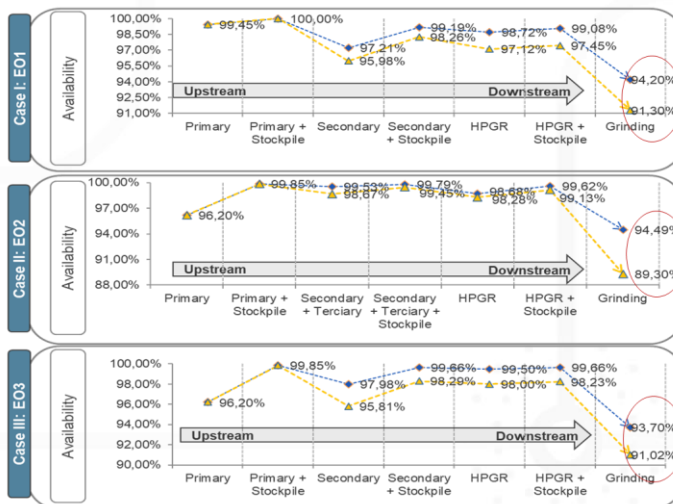


Como resultado del estudio de mejoras de la Planta de Conminución, del análisis de Confiabilidad Operacional con RMES, se obtiene un aumento de la disponibilidad que aporta un incremento 400.000 t/a de mineral procesado y un ahorro del CAPEX de 200 MM de USD por simplificación de la topología y por reducción de la capacidad de carga viva de los stock-piles



### Principales Beneficios

- 1 Aumento de la Disponibilidad en 1,07% sobre el escenario base, generando un aumento del mineral procesado de 460.000 [t/a]
- 2 Ahorro de USD 200 MM en Capex a través del dimensionamiento óptimo de stockpiles, manteniendo la confiabilidad del proceso
- 3 Ahorros en Capex a través de la simplificación del proceso



© Adolfo Arata Andreani . Todos los derechos reservados



# ¡Gracias!

Adolfo Arata Andreani  
adolfo.arata@rmesanalytics.com