CMC CHILE 2026

Sesión

BRÚJULA

1

BRÚJULA SESIÓN 16

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN



“DE PRODUCCIÓN A MANTENIMIENTO: CÓMO DEFINIR LA CONFIABILIDAD REQUERIDA EN OPERACIONES BROWNFIELD.”

FELIPE VALENZUELA ARCE

Gerente Terminal Marítimo Oxiquim Mejillones ·

2

CONTEXTO ESTRATEGICO Y PROBLEMA DEL NEGOCIO

Activos Browfield sometidos a crecientes exigencias de producción y rentabilidad.

El negocio define metas productivas, asumiendo que la estrategia de mantenimiento alcanza.

La discusión se centra en mejorar indicadores, no en validar los requerimientos del negocio.

3

¿Cuántos de ustedes han cumplido sus kpi .... y aun así tuvieron que explicar por qué el negocio no llegó a la meta?

4



5

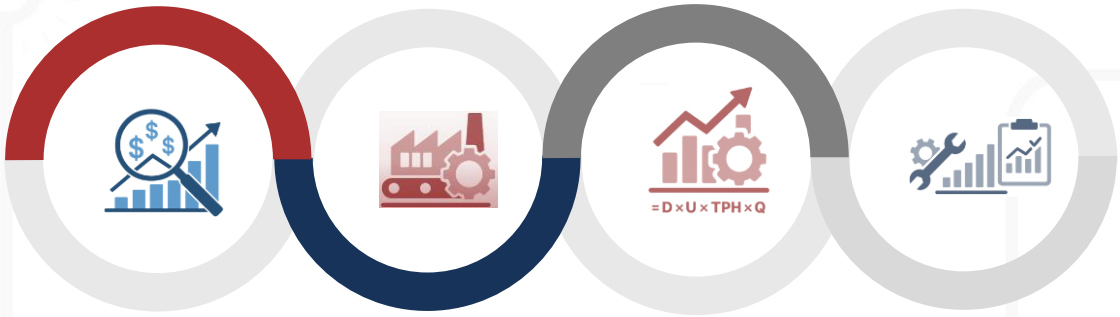
Este es el error conceptual más común:

definir la estrategia de mantenimiento sin conocer la confiabilidad requerida.

La mayoría de las organizaciones no VALIDA este requisito.

6

EL NEGOCIO DEFINE LA CONFIABILIDAD REQUERIDA



REQUERIMIENTO DEL NEGOCIO
- Producción comprometida
- Nivel de servicio
- Demanda de mercado

CAPACIDAD DEL SISTEMA
- Diseño nominal
- Restricciones operacionales
- Cuellos de botella

VECTOR REQUERIDO
- Ton/mes, TPH requerida
- OEE objetivo
- DF requerida

CONFIABILIDAD REQUERIDA
- Misión t a cumplir
- R(t) y MTBF del sistema
- Nivel de riesgo aceptado

"La confiabilidad requerida no es una decisión de mantenimiento. Es una consecuencia directa de los objetivos del negocio."

Tu logo

7

La metodología: seis etapas que llevan el requerimiento del negocio hasta las decisiones que maximizan el EBITDA.

8

LA METODOLOGÍA : SEIS ETAPAS

1	2	3	4	5	6
Vector de producción	**OEE objetivo**	**Disponibilidad requerida**	**Modelamiento DLF + RBD**	**Confiabilidad requerida**	**Estrategia de mantenimiento**
¿Cuánto debe producir el sistema y con qué nivel de servicio?	Desempeño global que exige ese vector al sistema.	Cuánto tiempo debe operar: horas de detención admisibles.	Flujo real, cuellos de botella y configuración serie/paralelo.	Integra volumen, continuidad y riesgo: MTBF y R(t) por subsistema.	Tareas, frecuencias, ventanas y redundancia para cerrar la brecha.

Negocio → Disponibilidad | **Sistema → confiabilidad** | **Estrategia**

Clave: la etapa 3 dice cuánto tiempo debe operar el sistema; la 5 traduce todos los requisitos del negocio a la confiabilidad que debe sostener.

Tu logo

9

ETAPA 5: TRES REQUISITOS, UNA CONFIABILIDAD REQUERIDA

A · Volumen desde la DF requerida	B · Continuidad desde la misión	C · Riesgo desde las consecuencias
¿Cuántas fallas tolera la producción comprometida? 1. Horas de falla = T(1 − DF) − detenciones programadas 2. Fallas máx = horas de falla ÷ MTTR 3. MTBF_A = horas de operación ÷ fallas máx	**¿Con qué probabilidad debe cumplirse cada misión sin falla?** 1. Misión t: nave, campaña, lote, turno 2. R(t) exigida, acordada con el negocio 3. MTBF_B = −t ÷ ln R(t)	**¿Qué frecuencia de falla es tolerable por seguridad, ambiente o contrato?** 1. Frecuencia tolerable según matriz de riesgo 2. Aplica a modos de falla críticos 3. MTBF_C (modo de falla) = 1 ÷ frecuencia tolerable

No son alternativas, son complementos: A asegura el volumen, B el nivel de servicio y C el riesgo aceptado. La confiabilidad requerida es el más exigente de los tres y se asigna a subsistemas y modos de falla.

Por qué la DF sola no basta: la disponibilidad se recupera bajando el MTTR; la confiabilidad solo sube con el MTBF. Un plan diseñado solo por DF puede cumplir el volumen y fallar la misión.

Tu logo

10

MISMA DISPONIBILIDAD, DISTINTA CONFIABILIDAD

Equipo A		Equipo B	
MTBF	99 h	MTBF	990 h
MTTR	1 h	MTTR	10 h
DF	**99 %**	**DF**	**99 %**
Fallas por año	≈ 88	Fallas por año	≈ 9
R(168 h)	**18 %**	**R(168 h)**	**84 %**

Ambos cumplen una DF requerida de 99 %.

Solo B completa una semana sin falla con alta probabilidad.

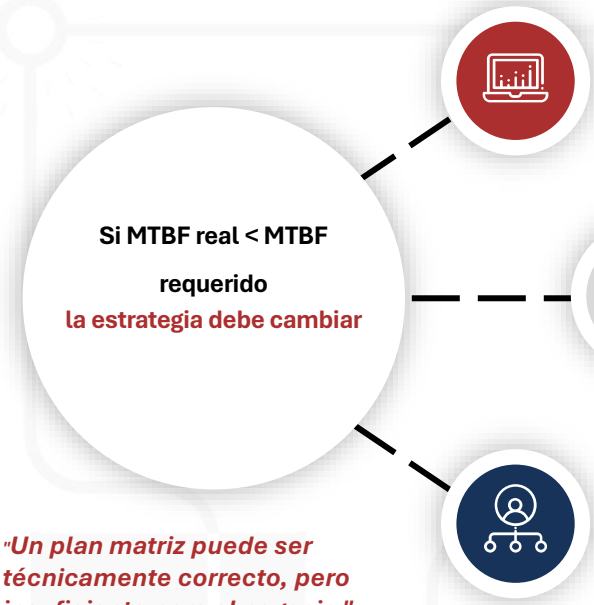
En un sistema integrado cada falla detiene la cadena: rearranques, pérdidas de calidad, exposición a riesgos y compromisos de servicio incumplidos.

En EBITDA no valen lo mismo: A interrumpe la operación 88 veces al año y B 9. La DF se recupera bajando el MTTR; la confiabilidad solo sube con el MTBF.

Tu logo

11

ETAPA 6: ESTRATEGIA PARA CERRAR LA BRECHA



Tareas y frecuencias

RCM en la línea crítica; frecuencias derivadas de la R requerida y de Weibull (β, η), no del histórico.

Ventanas operacionales

Detenciones programadas coordinadas para el sistema completo, compatibles con la misión.

Redundancia y rediseño

Si el MTBF requerido no es alcanzable con mantenimiento, la brecha en EBITDA justifica el CAPEX.

"Un plan matriz puede ser técnicamente correcto, pero insuficiente para el negocio."

Tu logo

12

CADA DECISIÓN TÉCNICA TIENE UN VALOR EN EBITDA

Vector de producción	DF requerida	Confiabilidad requerida	Estrategia	EBITDA
t/año comprometidas	horas de operación	misión sin falla	tareas, ventanas, redundancia	resultado
En dinero Ingresos comprometidos en el presupuesto	**En dinero** 1 pto de DF = H × U × R × Q × margen ÷ 100	**En dinero** Costo de misión fallida = pérdida + sobrestadía + multa	**En dinero** Δ OPEX de mantenimiento y CAPEX	**En dinero** Lo que se decide en el directorio

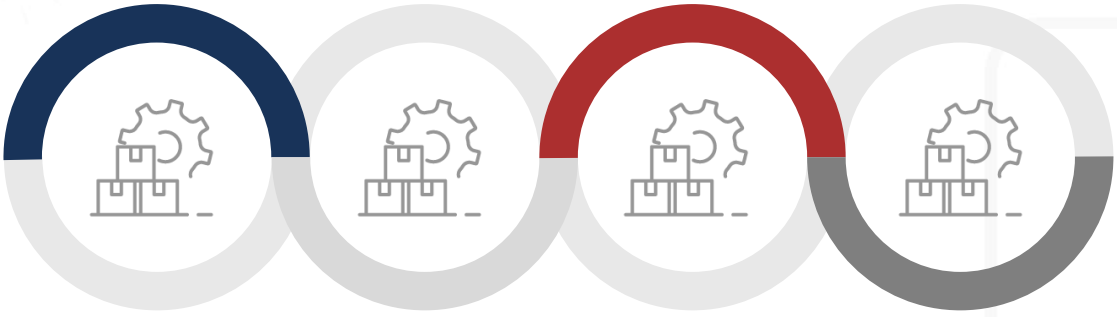
CADA DECISIÓN TECNICA PUEDE TRADUCIRSE A EBITDA

Cada etapa de la metodología termina en un número que el directorio entiende. La conversación deja de ser «necesito más presupuesto» y pasa a ser «esta decisión vale X MUSD de EBITDA».

Tu logo

13

VALIDACIÓN: EL ÉXITO SE MIDE EN EL NEGOCIO



Cumplimiento del vector	Disponibilidad	Confiabilidad	Valor
Producción real ÷ comprometida	DF real vs. DF requerida	Misiones sin falla ÷ total	Δ EBITDA real vs. comprometido
Meta = 100 % · mensual	**Meta ≥ 94 % · mensual**	**Meta ≥ R(t) req. · por misión**	**Trimestral**

No es indicador de éxito: el cumplimiento del plan matriz. Si un indicador no cumple, se vuelve a la etapa que lo origina, no se agrega mantenimiento por defecto.

Tu logo

14

Aplicación práctica: Operación un terminal de embarque de concentrado de hierro, desde la meta de producción hasta la decisión de inversión.

Tu logo

15

EL NEGOCIO: PUERTO DE CONCENTRADO DE MINERAL

Caso basado en un terminal real del norte de Chile. Cifras normalizadas para fines ilustrativos.

Concentraducto desde la planta concentradora → **Planta de filtrado** filtros Cerámicos → **Acopio** apilador viajero, pulmón de la cadena → **Embarque a nave** sistema analizado

SISTEMA DE EMBARQUE: CINCO SUBSISTEMAS EN SERIE, SIN REDUNDANCIA. SI UNO FALLA, LA NAVE SE DETIENE.

Alimentadores de acopio feeders bajo la pila → **Correa principal** ruta de embarque → **Torres de transferencia** cambios de correa → **Correa de muelle** hasta el cargador → **Cargador de naves** traslación y pluma

COMPROMISO DEL NEGOCIO

7,5 Mt/año de concentrados

43 naves/año, cada una cargada en 48 h a 72 h sin interrupción.

Margen 60 US$/t embarcada

LO QUE ENCONTRAMOS

Mantenimiento en verde: plan matriz al 96 %, DF de 88 % igual al presupuesto, MTBF mejorando.

Negocio en rojo: 1 de cada 6 naves interrumpida y 0,36 Mt bajo el compromiso, sobrestadía y penalidades.

Supuesto clave a validar con el negocio: con el acopio lleno, cada hora sin embarcar frena la planta de filtrado y el concentraducto. Por eso cada tonelada no embarcada se valoriza al margen completo.

Tu logo

16

EJEMPLO: DEL VECTOR DE PRODUCCIÓN A LA DF OBJETIVO

VECTOR
7,5 Mt/año
43 naves/año · ≈ 175 kt promedio por campaña

→

OEE OBJETIVO
28,5 %
7,5 Mt ÷ (8.760 h × 3.000 t/h de capacidad nominal)

→

DF REQUERIDA
92,4 %
OEE ÷ (U 38,5 % × P 81 % × Q 99 %)

→

MARGEN DE RIESGO
+1,6 pts
Cubre la variabilidad para cumplir con alta probabilidad (P90)

→

DF OBJETIVO
94 %
El requisito que el sistema debe sostener

88 %
DF real del sistema (12 meses)

6 puntos
Brecha: ≈ 490 kt/año de capacidad que el sistema no entrega

≈ 29 MUSD
de EBITDA anual en juego

U: tiempo con nave en muelle (43 campañas × ≈ 78 h). P: rendimiento real del carguío. Q: calidad. 1 punto de DF = 8.760 × 3.000 × 0,385 × 0,81 × 0,99 ÷ 100 ≈ 81 kt/año ≈ 4,9 MUSD/año con margen de 60 US$/t.

Tu logo

17

EJEMPLO: CONFIABILIDAD REQUERIDA DEL SISTEMA

DF objetivo 94 % · 8.760 h/año · 350 h programadas · MTTR objetivo 6 h.

Camino A · volumen	
Detención admisible	**8.760 × 6 % = 526 h**
Para fallas	**526 − 350 = 176 h**
Fallas máximas	**176 ÷ 6 ≈ 29 /año**
MTBF mínimo	**8.234 ÷ 29 = 281 h**
R(72 h) resultante	**77 %**

Camino B · continuidad	
Misión	**una campaña en 72 h**
Exigencia	**9 de cada 10 sin interrupción**
R requerida	**R(72 h) ≥ 90 %**
MTBF mínimo	**72 ÷ (−ln 0,90) = 683 h**
Fallas máximas	**≈ 12 /año**

Confiabilidad requerida del sistema:
MTBF ≥ 683 h · R(72 h) ≥ 90 %

Plan diseñado solo por DF: MTBF 420 h
DF 94,6 %: cumple
R(72 h) 84,2 %: no cumple

Camino C · riesgo: la rotura de correa con derrame tiene frecuencia tolerable ≤ 1 cada 10 años; se exige en la asignación a ese modo de falla. Con solo la DF, 1 de cada 6 campañas se interrumpe (≈ 1,5 MUSD/año).

Tu logo

18

DÓNDE INVERTIR LA CONFIABILIDAD REQUERIDA

Serie: R sistema = $\prod R_i$, es decir λ sistema = $\Sigma\lambda_i$. **Método ARINC:** cada subsistema recibe una fracción del λ admisible (1/683 h) proporcional a su tasa de falla actual.

Subsistema	MTBF real (h)	Peso $\lambda_i/\Sigma\lambda$	MTBF requerido (h)	R(72 h) requerida	Brecha MTBF (h)
Alimentadores de acopio	2.050	0,20	3.340	97,9 %	+1.290
Correa principal	1.230	0,34	2.004	96,5 %	+774
Correa de muelle	3.420	0,12	5.573	98,7 %	+2.153
Torres de transferencia	5.470	0,08	8.913	99,2 %	+3.443
Cargador de naves	1.640	0,26	2.672	97,3 %	+1.032
Sistema	**420**	**1,00**	**683**	**90,0 %**	**+263**

Lectura: correa principal y cargador de naves concentran 60 % de la tasa de falla, y por lo tanto 60 % de la mejora exigida. Ahí va el presupuesto de confiabilidad, no repartido en forma pareja.

Tu logo

19

BRECHAS DETECTADAS: DÓNDE SE PERDÍA EL EBITDA

Resultado de contrastar el caso base con la confiabilidad requerida (etapas 3 a 5).

Brecha	Caso base → requisito	Causa raíz encontrada	EBITDA en juego (MUSD/año)
1 · Volumen	DF 88 % → 94 %	MTTR de 36 h: repuestos críticos fuera de sitio y detenciones no coordinadas con las naves	29,2
2 · Continuidad	R(72 h) 84,2 % → 90 % (MTBF 420 → 683 h)	Frecuencias heredadas, no derivadas de la misión ni del comportamiento de falla	1,5
3 · Línea crítica	Correa y cargador: 60 % de la tasa de falla	Criticidad histórica: no figuraban como críticos y el presupuesto se repartía parejo	Foco de la brecha 2
4 · Riesgo	Rotura de correa con derrame sin control específico	Exigencia ≤ 1 evento cada 10 años; empalmes sin inspección por condición	Licencia y reputación
5 · Gestión	SAP PM y datos de falla	Ubicaciones técnicas desalineadas del proceso y fallas mal registradas	Habilitante

Lectura: la brecha de volumen es la más grande, pero se cierra bajando el MTTR. La de continuidad solo se cierra subiendo el MTBF, y eso exige ir a la línea crítica real.

Tu logo

20

CÓMO SE DECIDIÓ: LA OPCIÓN QUE MAXIMIZA EL EBITDA

Línea base: MTBF 420 h y MTTR 36 h → DF 88 % y R(72 h) 84,2 %. Requisitos: DF ≥ 94 % y R(72 h) ≥ 90 %.

Estrategia	Δ costo (MUSD/año)	DF	R(72 h)	Cumple	Δ EBITDA (MUSD/año)
A · Solo DF: repuestos, logística y ventanas (MTTR 36 → 6 h)	+1,0	94 %	84,2 %	DF sí, misión no	+28,2
B · DF + confiabilidad: además RCM y Weibull en la línea crítica (MTBF 420 → 683 h)	**+1,6**	**94 %**	**90 %**	**Ambos**	**+29,1**
C · DF + redundancia en equipos del cargador de naves y RCM en correa (CAPEX anualizado)	+2,6	94 %	90 %	Ambos	+28,1

Criterio de decisión: el mayor Δ EBITDA que cumple ambos requisitos (B), no el mayor retorno por dólar (A). A recupera la DF bajando el MTTR, pero la confiabilidad solo sube con el MTBF.

Supuestos ilustrativos: margen 60 US$/t (1 pto de DF ≈ 4,9 MUSD/año), 43 campañas/año, US$ 600 mil por campaña interrumpida (sobrestadía, reprogramación, penalidades).

Tu logo

21

CÓMO SE CERRARON LAS BRECHAS

Estrategia B en terreno: cada decisión responde a una brecha y se mide con un indicador del requisito.

Brecha	Decisión implementada	Indicador	Antes → después
1 · Volumen	Kit de repuestos críticos en sitio, contrato de respuesta y ventanas coordinadas con el calendario de naves	MTTR	36 → 6 h
2-3 · Correa principal	RCM; reemplazo de polines de zona de carga a 1.220 h (Weibull β 2,5 · η 3.000 h · R 90 %); monitoreo de cinta y empalmes	MTBF correa	1.230 → 2.000 h
2-3 · Cargador de naves	RCM e inspección predictiva (vibraciones y termografía) en traslación y pluma	MTBF cargador	1.640 → 2.670 h
2 · Resto del sistema	Frecuencias ajustadas según la asignación ARINC de cada subsistema	MTBF sistema	420 → 683 h
4 · Riesgo	Inspección de empalmes por condición y detectores de desalineamiento	Rotura con derrame	≤ 1 en 10 años
5 · Gestión	Criticidad recalculada por impacto en el vector, SAP PM reestructurado y datos validados	Datos confiables	Base del resto
Opción C	Redundancia del cargador evaluada y descartada: cumple, pero entrega 1,0 MUSD/año menos que B	CAPEX	No se invierte

Implementación: planificada en 6 meses, ejecutada en 12. La brecha 5 nos obligó a volver atrás; lo retomo en los aprendizajes.

Tu logo

22

LA MISMA METODOLOGÍA, CALIBRADA POR INDUSTRIA

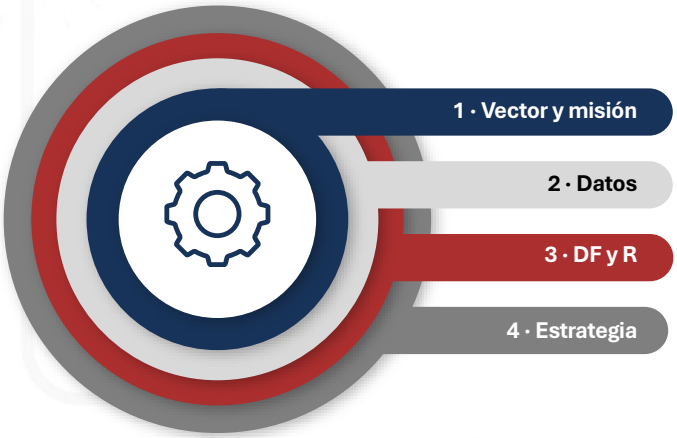
Industria	Vector del negocio	Misión que fija la confiabilidad	Qué cuesta fallar la misión (palanca EBITDA)	Línea crítica típica
Minería	t/día de concentrado	Campaña entre detenciones programadas	Producción perdida, rearranque de planta, recuperación metalúrgica	Chancado, molienda, filtrado
Puertos y terminales	t/año embarcadas	Campaña de carguío de una nave	Sobrestadía, penalidades contractuales, reprogramación	Correas, cargador de naves
Industria química	t por campaña	Lote o campaña completa	Lote fuera de especificación, reproceso, seguridad de proceso	Reactores, compresores
Energía	MWh comprometidos	Período de despacho	Compra de energía a costo marginal, multas por indisponibilidad	Turbina, caldera, transformador
Manufactura y alimentos	Unidades por turno	Turno o pedido	Pedido incumplido, merma, pérdida de cliente	Líneas de proceso y envasado
Procesos continuos	t/día (celulosa, cemento)	Campaña entre paradas de horno	Enfriamiento y recalentamiento, daño de refractario	Hornos, molinos, digestores

La columna que cambia la conversación es la cuarta: define cuánto vale cada punto de confiabilidad en ese negocio.

Tu logo

23

CÓMO APLICARLA EN SU OPERACIÓN



Vector y misión. Pida al negocio la producción comprometida y defina qué intervalo debe cumplirse sin interrupción.

Datos. Valide 12 meses de DF, MTBF, MTTR y parámetros Weibull por subsistema antes de calcular.

DF y R requeridas. Calcule ambas, tome la más exigente y asígnela con el RBD.

Estrategia y EBITDA. Cierre la brecha con tareas, frecuencias y redundancia, y exprésela en dinero.

Tu logo

24

Aprendizajes claves: Aplicando esta metodología en distintas organizaciones me enseñaron.

25

AL LLEGAR A UNA ORGANIZACIÓN: CUESTIONARLO TODO



No dar nada por hecho. Ni el vector, ni la criticidad, ni la redundancia, ni los datos de SAP: cada supuesto se verifica.



Primero las preguntas correctas. La metodología obliga a responder qué necesita el negocio antes de discutir qué hace mantenimiento.



Lo que no se valida, se paga después. Cada supuesto no verificado vuelve como retrabajo, plazo perdido y EBITDA que no llega.

26

LO QUE HARÍA DISTINTO Y LO QUE NO REPETIRÍA

LO QUE HARÍA DISTINTO	LO QUE NO REPETIRÍA
✓ Validaría los datos desde el día 1	✗ Medir el cumplimiento del plan como indicador de éxito
✓ Cuestionaría antes la criticidad	✗ Construir estrategias sin validar la demanda
✓ Partiría siempre desde producción	✗ Asumir que más mantenimiento es mejor resultado

Cada uno de estos puntos es una etapa de la metodología que en algún momento me salté. Por eso hoy la aplico completa y en orden, en cualquier organización a la que llego.

Tu logo

27

LAS PREGUNTAS CORRECTAS PARA CUALQUIER OPERACIÓN

	PREGUNTA	QUIÉN RESPONDE	ENTREGA
1	¿Qué producción y nivel de servicio comprometió el negocio, y está validada?	Negocio	Vector
2	¿Cuánto tiempo debe operar el sistema para cumplirlo?	Operación	DF requerida
3	¿Cómo es realmente el sistema: cuellos de botella, redundancias, datos?	Ingeniería y mantenimiento	Modelo real
4	¿Qué volumen, misión y riesgo debe sostener sin falla?	Negocio y confiabilidad	Confiabilidad requerida
5	¿Dónde está la brecha y qué palanca la cierra al menor costo?	Mantenimiento	Estrategia
6	¿Cuánto EBITDA vale cerrarla, y cómo lo mediremos?	Finanzas y gerencia	Decisión

"¿Conoce hoy su organización la confiabilidad que realmente necesita?"

Tu logo

28

La confiabilidad no se define en mantenimiento. Se define en el negocio. Y cuando esa conversación se lleva a EBITDA, la organización completa se alinea.

29

SESIÓN 16

ESCANEA EL CÓDIGO QR

RESPONDE UNA BREVE ENCUESTA

¡GRACIAS!

Felipe Valenzuela Arce

felipe.valenzuela.arce@gmail.com

30