



**8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS**

 **22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento**

 **27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA**

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abraman**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

Selección adecuada del VSD

Clave para maximizar la eficiencia y reducir costos en equipos rotodinámicos de la industria del gas y petróleo



Jueves 12 de Junio, 08:00AM. Sala 1



Selección adecuada del Variador de velocidad hidrodinámico (VSD)

Valentin Chocano

- Máster (MBA) en gestión y finanzas con especialización en gestión estratégica (HWU Nürtingen/Alemania)
- Ingeniero Mecánico con especialización en diseño de máquinas (UNSA/Perú)
- Con más de 20 años de experiencia en la profesión
- Amplia experiencia profesional en los campos de la automatización, diseño de sistemas motrices eléctricos, sistemas motrices para maquinaria minera en sistemas de trituración y transporte de material, sistemas motrices de alta potencia para compresores y bombas centrífugas en la industria del petróleo y el gas.
- Actualmente es el Responsable del departamento de Retrofit & Project Management de la División de Servicios del **Grupo Voith-Turbo** en Alemania, ha presentado ponencias sobre Electrificación y retro adaptación de turbo maquinaria en diversos congresos de la industria del petróleo y el gas en todo el mundo.

Agenda

1. La clave para una productividad efectiva
2. Configuración y diseño efectivo
3. Operación eficiente
4. Mantenimiento efectivo
5. Parámetros de evaluación para una producción efectiva



**8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS**

 **22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento**

 **27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA**

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abraman**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

1: La clave para una productividad efectiva



Claves de la Productividad

Efectividad



Eficacia



Eficiencia

Alcanzar las metas con menos recursos

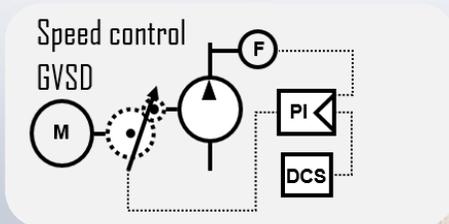
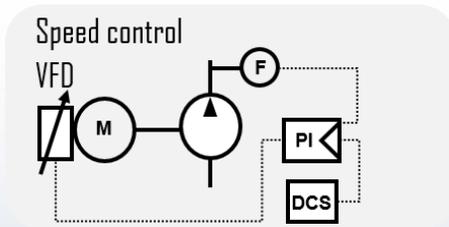
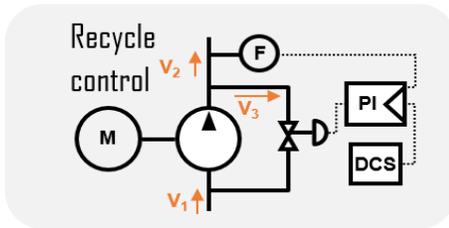
Hacer bien las cosas correctas

Capacidad de alcanzar las metas

Hacer las cosas correctas

Capacidad de usar menos recursos

Hacer bien las cosas



	EFICACIA	EFICIENCIA		
Metodo	Regulación del caudal	EFF	MTBF	OPEX
Válvula bypass				
VFD				
VSD Hidrodinamico				



**8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS**

 **22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento**

 **27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA**

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abraman**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

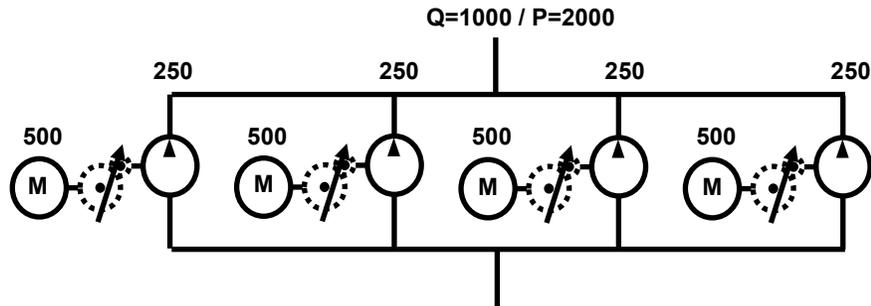
2: Configuración y diseño efectivo



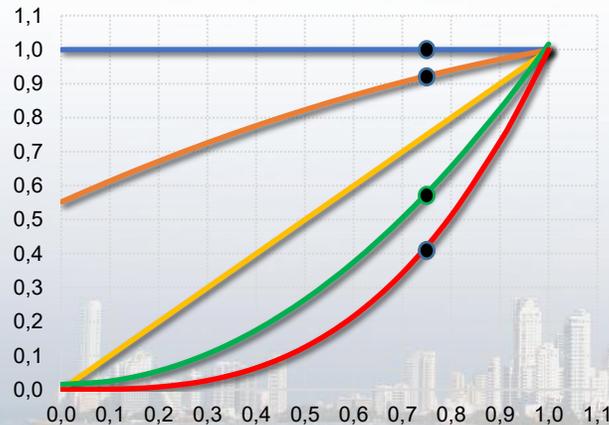
Evaluación energética del Sistema (Eficiencia)

1 Definición del arreglo

$P_m = 2000\text{kW}$; $Q = 75\%$; $t = 8500\text{h/a}$; $ec = 0,07\text{€/kWh}$



— Recycle — Throttling — On/Off
 — VSD — Bomba



2 Definición del Método y puntos de operación

3 Evaluación de los costos de energía anual

$$E_{\text{Sistema}} = n * P_m * t * ec$$

$$E_{RC} = 4 * 1 * 500 * 8500 * 0,07$$



$$E_{RC} = 1.2 \text{ M€}$$

Diseño eficaz

$$E_{TV} = 4 * 0,92 * 500 * 8500 * 0,07$$



$$E_{TV} = 1.1 \text{ M€}$$

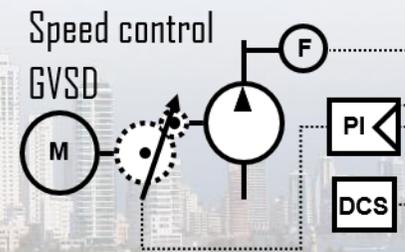
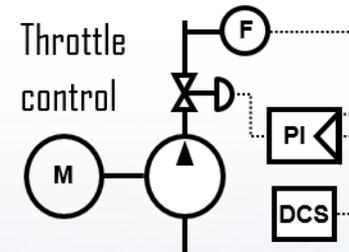
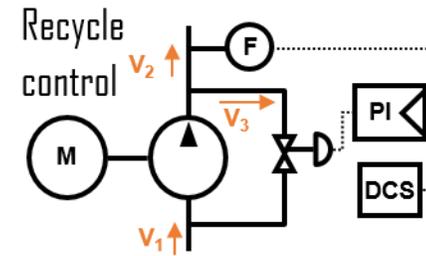
Diseño eficiente

$$E_{VSD} = 4 * 0,58 * 500 * 8500 * 0,07$$



$$E_{VSD} = 0.7 \text{ M€}$$

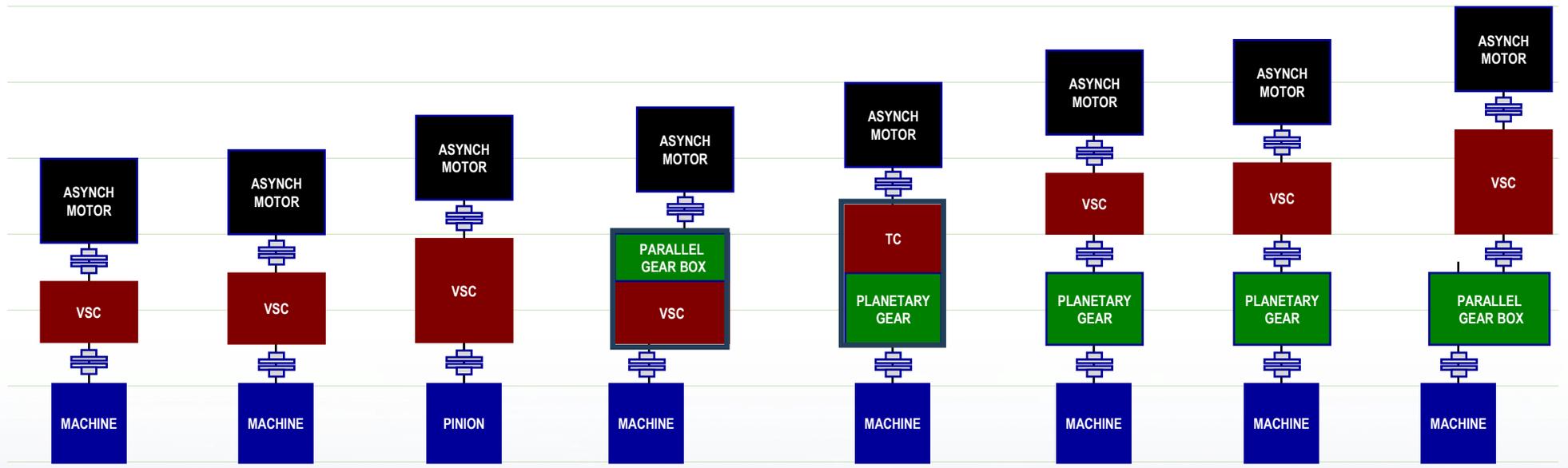
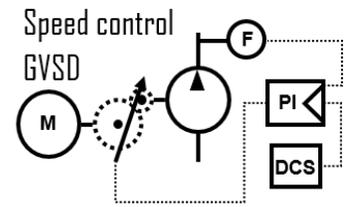
Diseño efectivo



4 Evaluación de la configuración del Sistema motriz

CONFIGURACION	1	2	3	4	5	6	7	8
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---

Ejemplo: 3-5MW



Nr. de Polos	2P	4P	6P	4P	4P	2P	4P	6P
Potencia	0,5 - 5 MW			1 - 50MW		0,5 - 5 MW		
Industria	Power / Oil / Gas /Mining & Metals							
Aplicacion	• Bombas centrifugas			• Compresores			• Bombas centrifugas	

Dimensionamiento efectivo

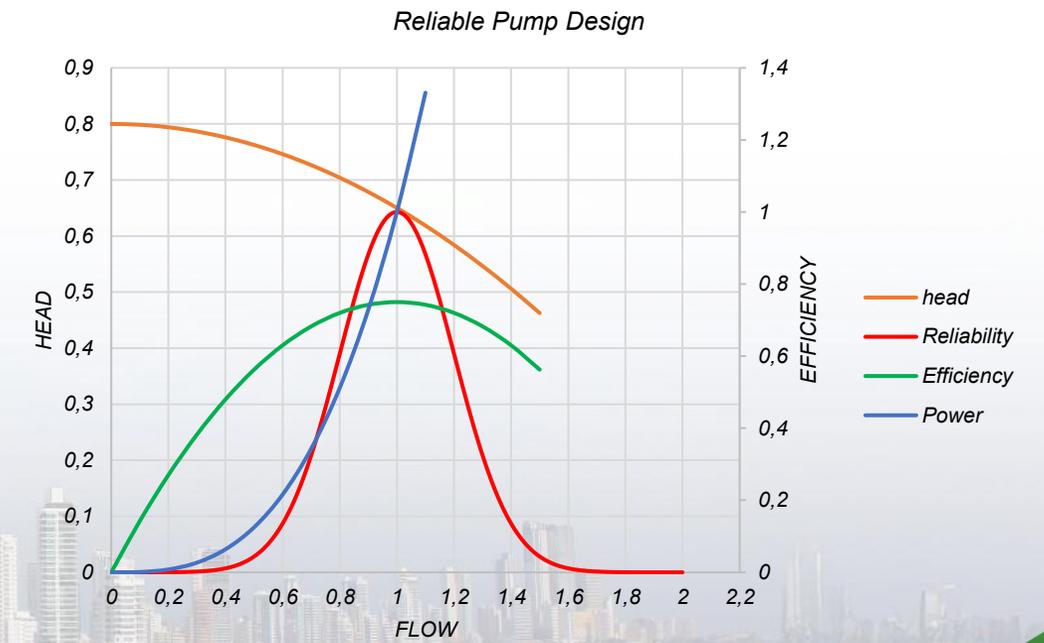
Tipo	DIMENSIONAMIENTO		
	SOBRE	SUB	NOM
Punto de Diseño	100%	100%	100%
Punto de Operación promedio anual	60%	105%	95%
Eficiencia Energética	Red	Red	Green
Eficiencia de mantenimiento	Green	Red	Green
Costos de energia (OPEX)	Red	Green	Green
Costos MRO (OPEX)	Green	Red	Green
MTBF	Green	Red	Green
Disponibilidad	Green	Red	Green
Fallas (Downtime)	Green	Red	Green
Tiempo de vida	Green	Red	Green
Confiabilidad	Green	Red	Green
Intervalos de mantenimiento (Downtime)	Yellow	Red	Green
CAPEX	Red	Green	Yellow



5 Dimensionamiento del VSD y del Motor

$$P_{VSD} \rightarrow f(P_a; n_a); f(P_{a\ max}; n_{a\ (105\%)}); f(J_{red}); f(T_{min}; T_{max}) \quad [5.1]$$

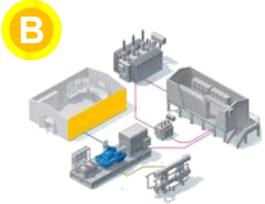
$$P_{MOTOR} = F_S * (P_a + P_{Perdidas\ hidrodinamicas} + P_{Perdidas\ mecanicas}) \quad [5.2]$$



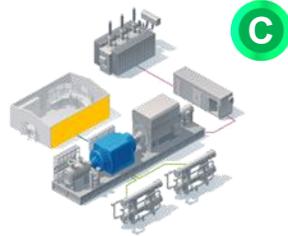
Diseño efectivo → bajo OPEX

Drive systems Hardware & Footprint

LV-VFD/SI system
Lowest energy consumption !



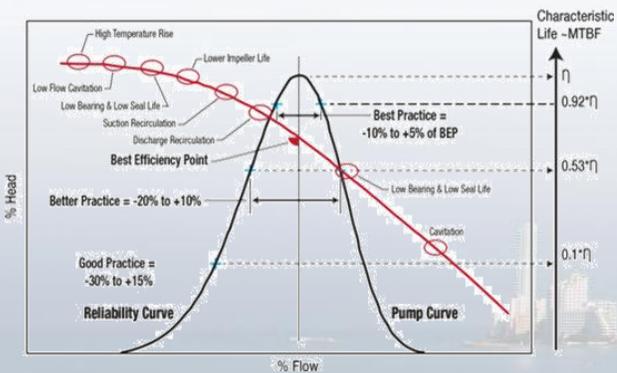
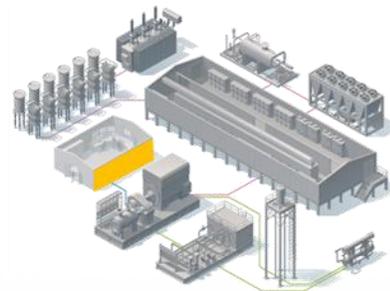
GVSD system
Highest system reliability !



GVSD system
Short footprint of drive unit !

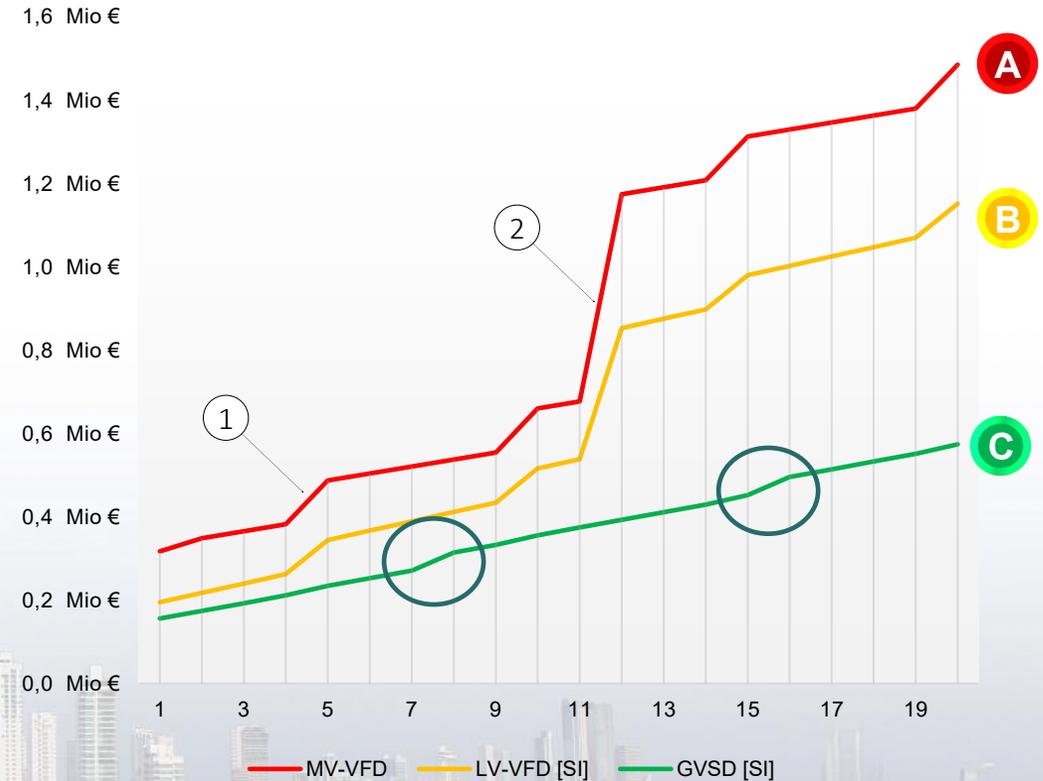


A
MV-VFD system
Footprint of drive unit !



Costos de operacion y Mantenimiento (MRO/OPEX)

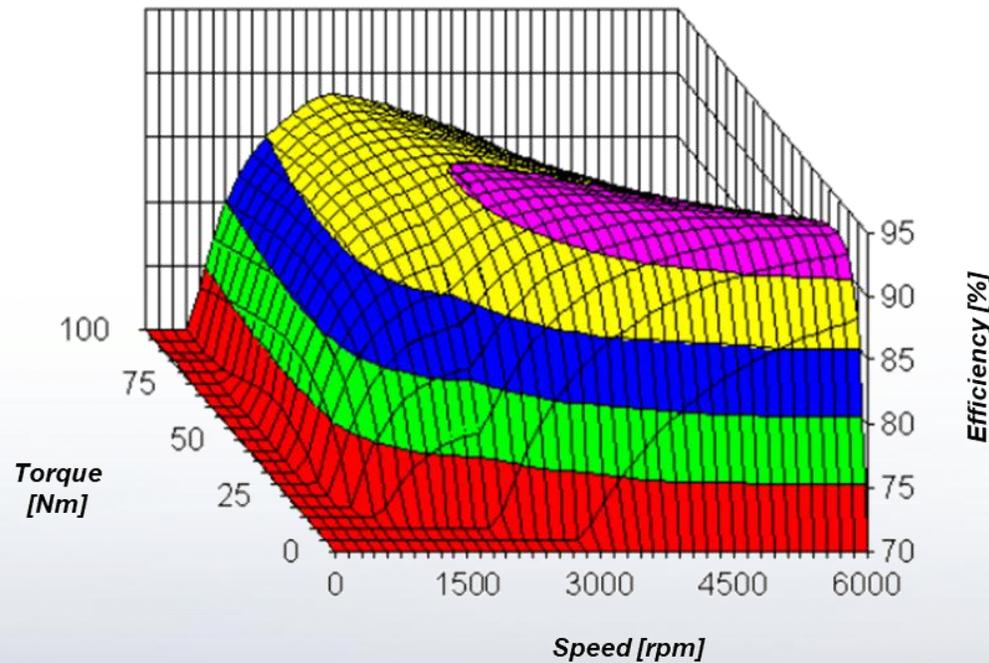
1: Overhaul
2: new equipment



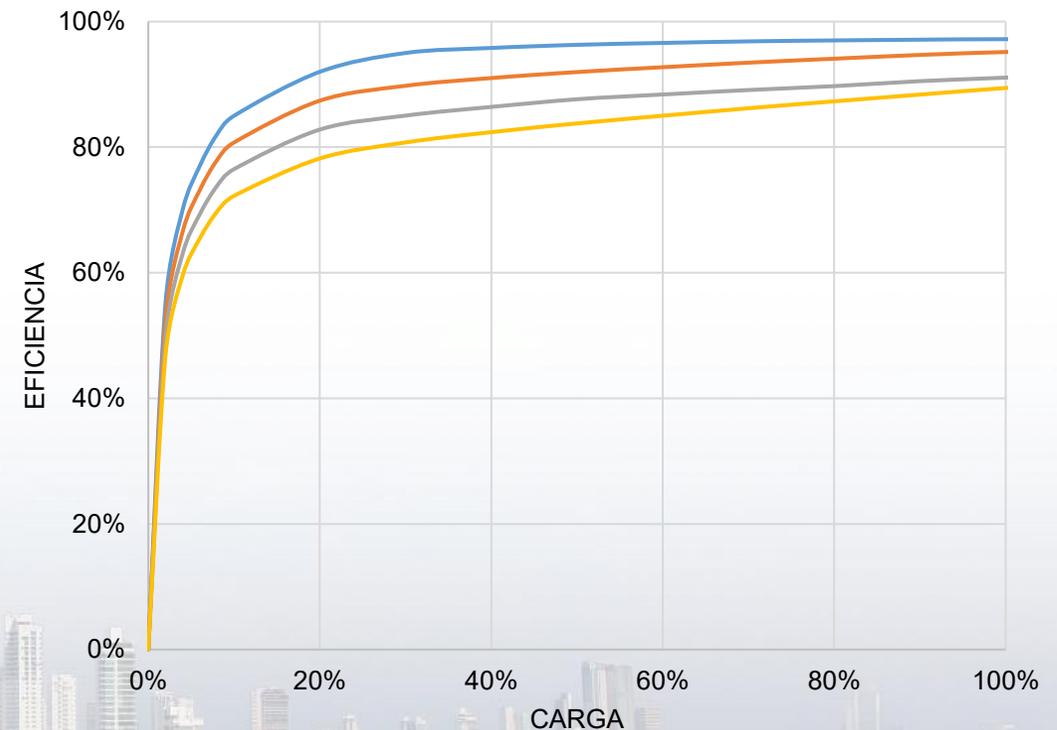
Diseño efectivo del Motor eléctrico → bajo OPEX

“La alta eficiencia tiene un efecto positivo en la confiabilidad (MTBF) y la vida útil de los equipos”

E – Motor con velocidad variable

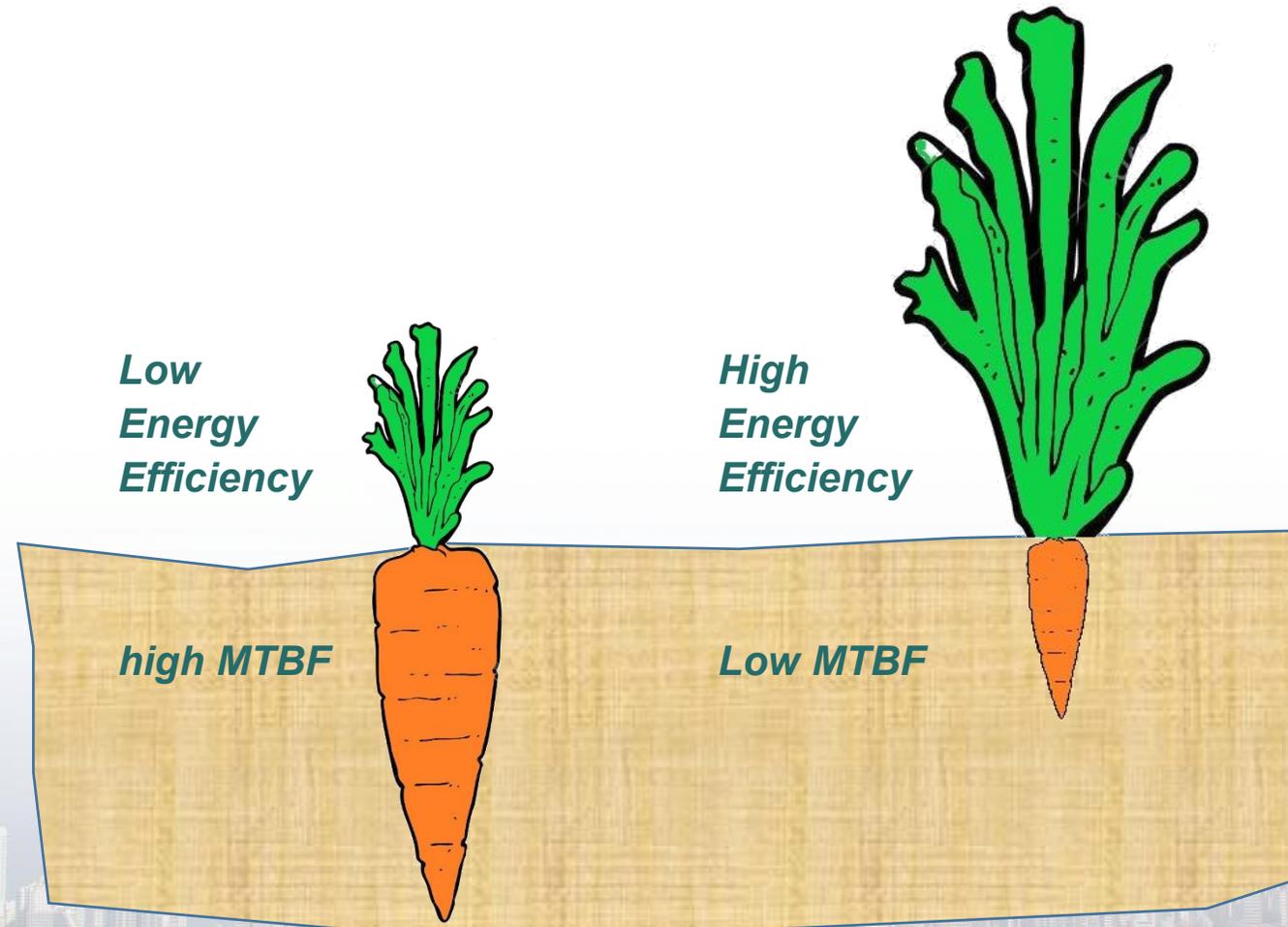


E – Motor con velocidad constante





Lo real y lo aparente de la eficiencia energética





**8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS**

 **22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento**

 **27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA**

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abraman**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

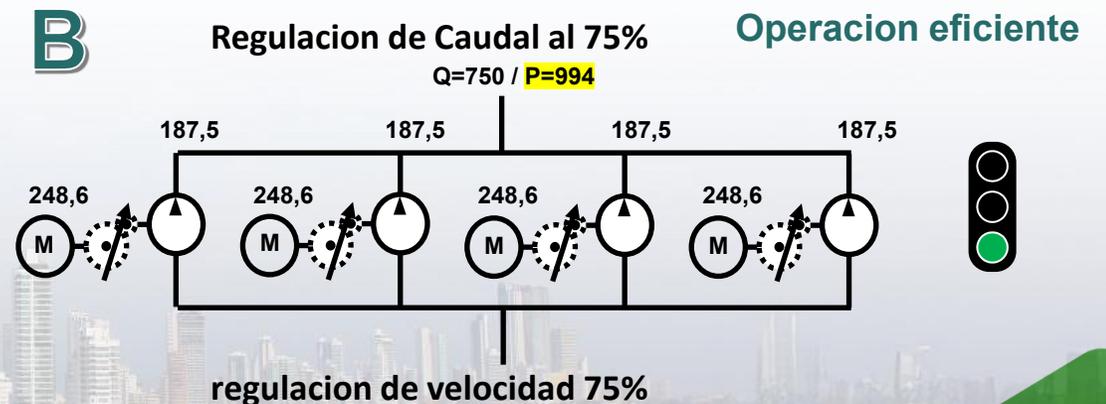
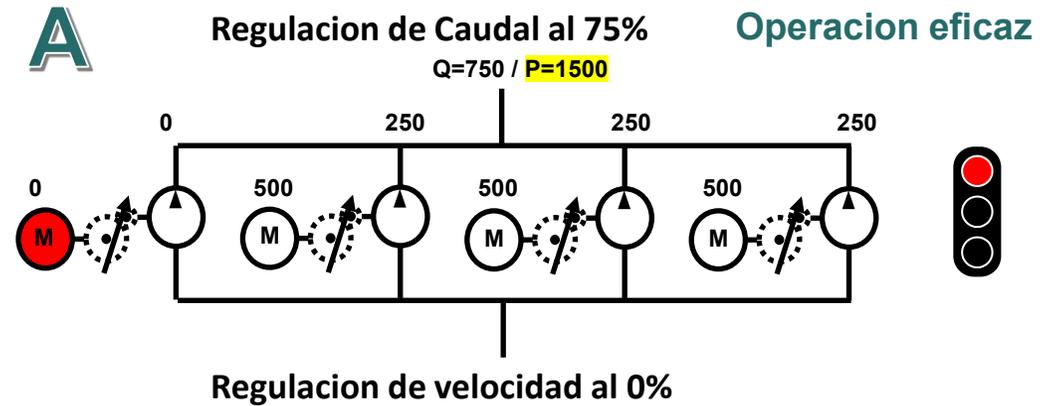
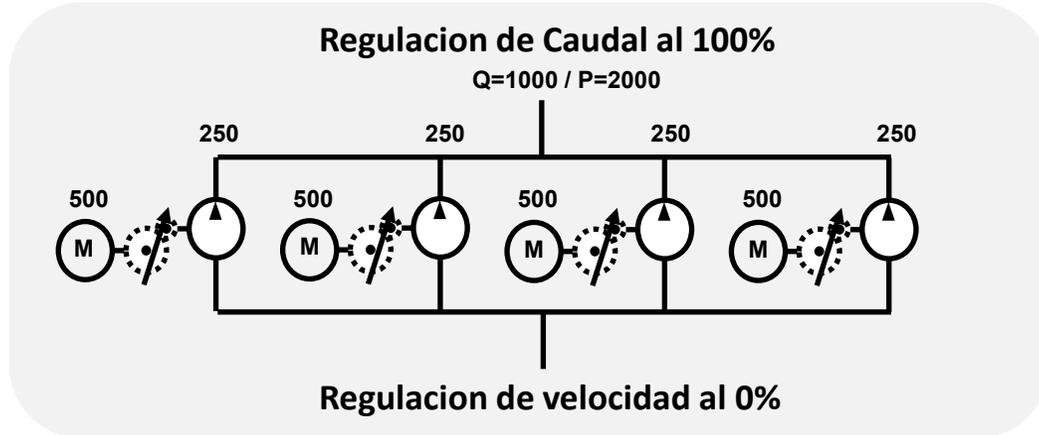
Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

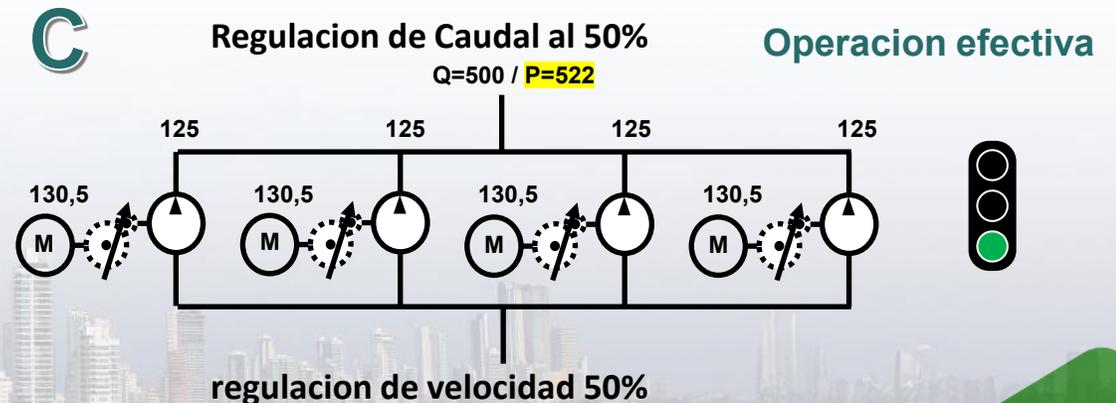
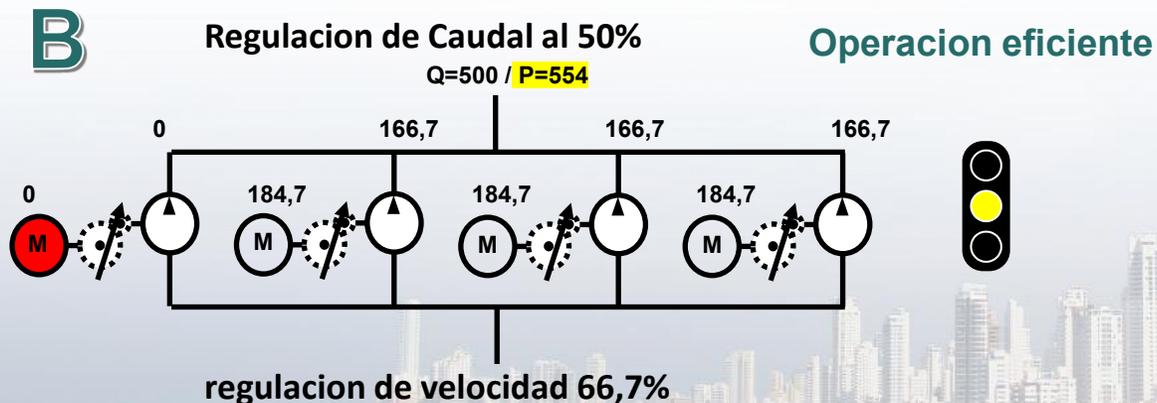
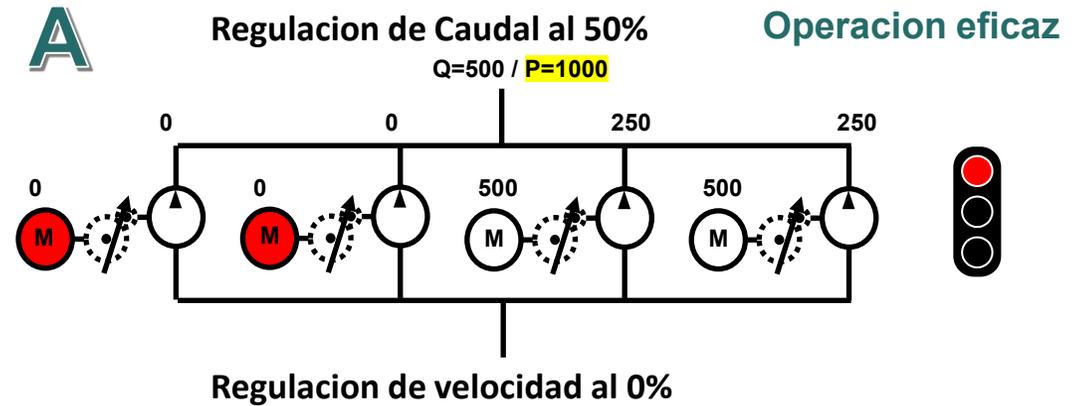
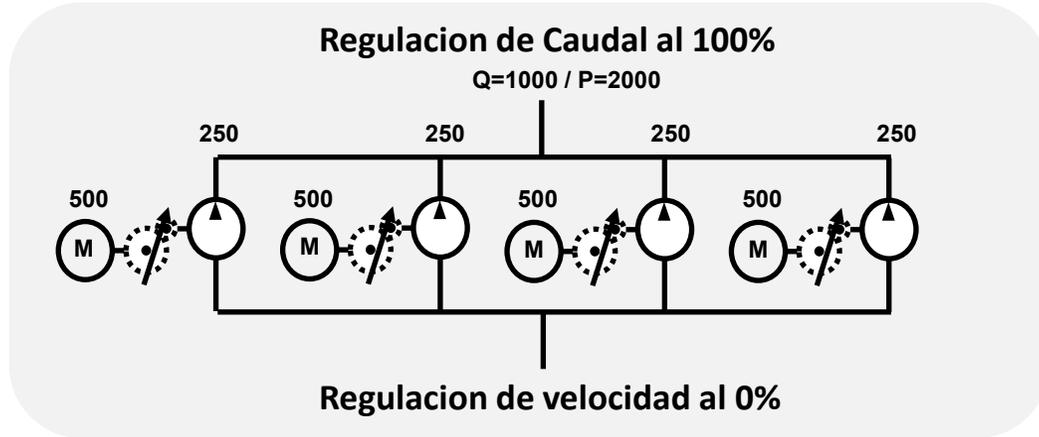
3: Operación eficiente



El valor real de la eficiencia energética



El valor real de la eficiencia energetica





**8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS**

 **22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento**

 **27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA**

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abraman**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

4: Mantenimiento efectivo

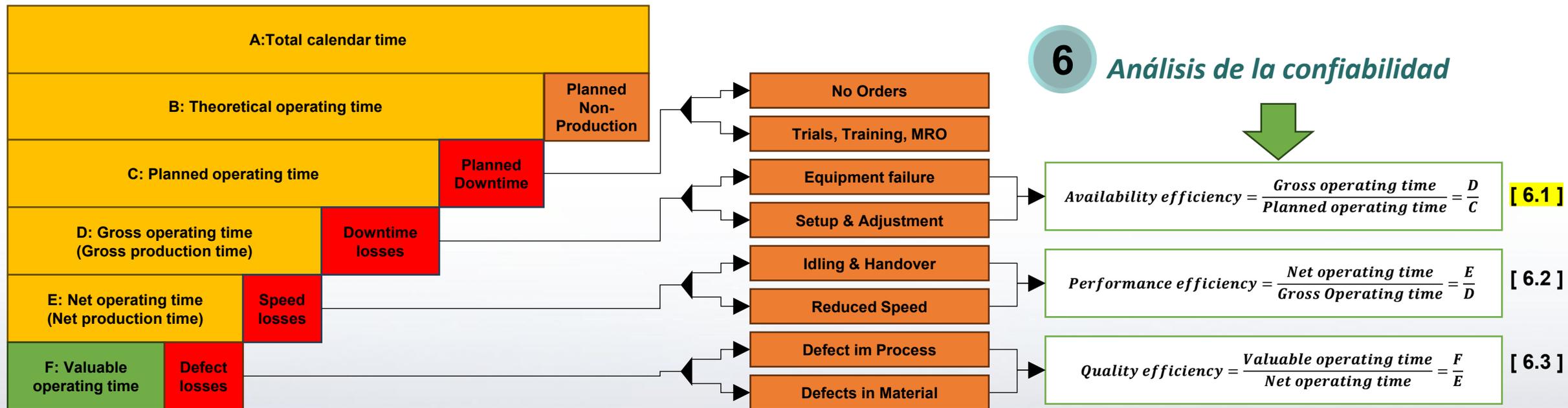


Análisis de la eficiencia de mantenimiento

La efectividad global de los equipos (OEE) es un importante indicador de rendimiento: la OEE pretende ayudar a evaluar la efectividad con la que se utilizan realmente las máquinas, los equipos o los sistemas de producción completos.

EIGHT BIG LOSSES

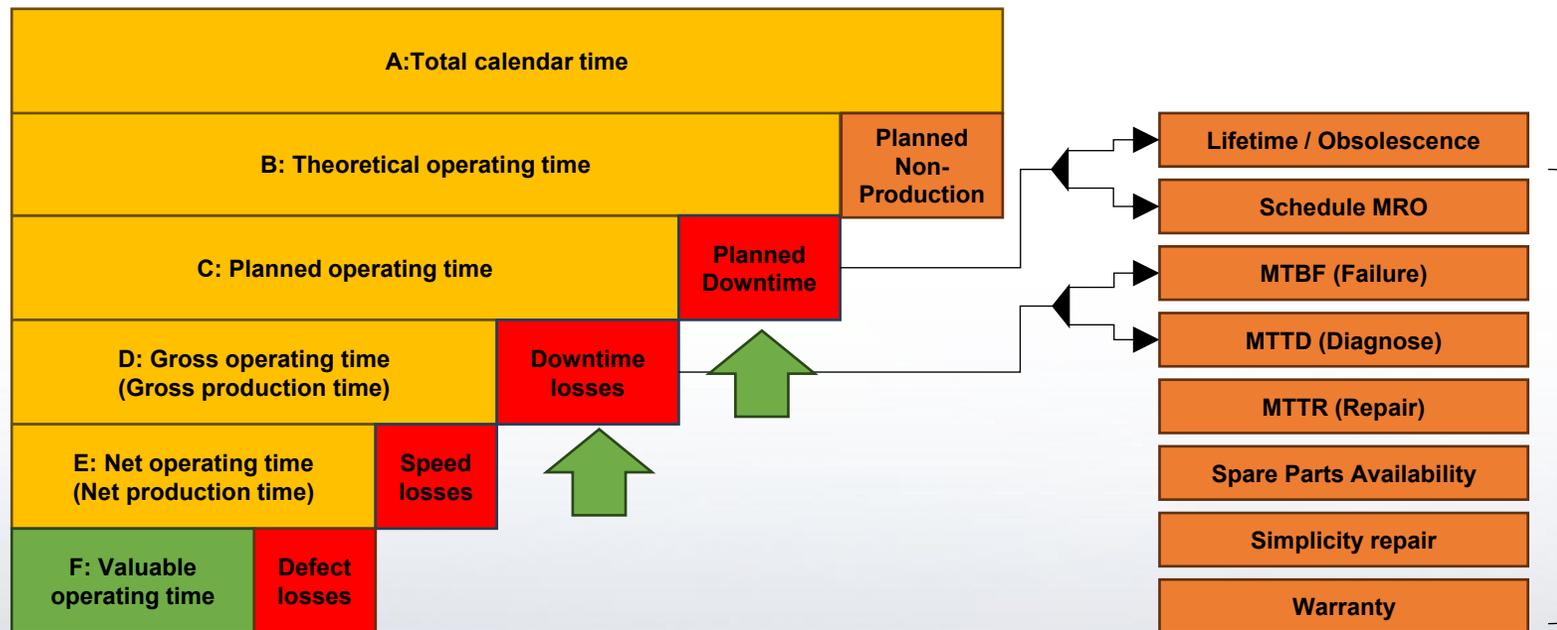
Diagrama OEE (Seiichi Nakajima)



$$OEE = \text{Availability} * \text{Performance} * \text{Quality} = \frac{D}{C} * \frac{E}{D} * \frac{F}{E} = \frac{F}{C}$$

Análisis de la eficiencia de mantenimiento

Reduccion de paradas no planificadas



7 Análisis de la confiabilidad

$$MTBF = \frac{\text{Planned operating time}}{\text{Number of failures}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Total maintenance time}}{\text{Number of failures}}$$

$$\text{Failure rate} = \lambda(t) = \frac{1}{MTBF}$$

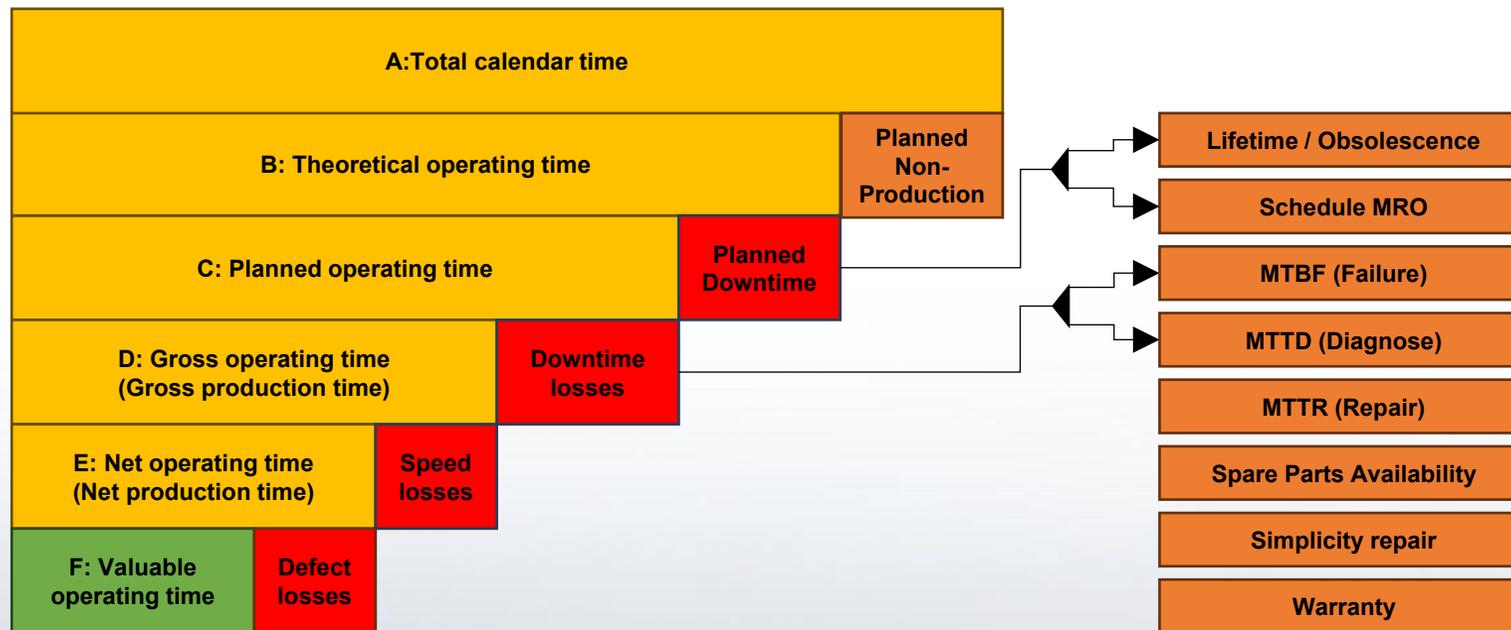
$$\text{Reliability} = R(t) = e^{-\frac{1}{MTBF} * t}$$

8 Análisis de la Disponibilidad

$$\text{Availability} = \frac{\text{Gross operating time}}{\text{Planned operating time}} = \frac{D}{C} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Análisis de la eficiencia de mantenimiento

Maximizando el tiempo de producción real

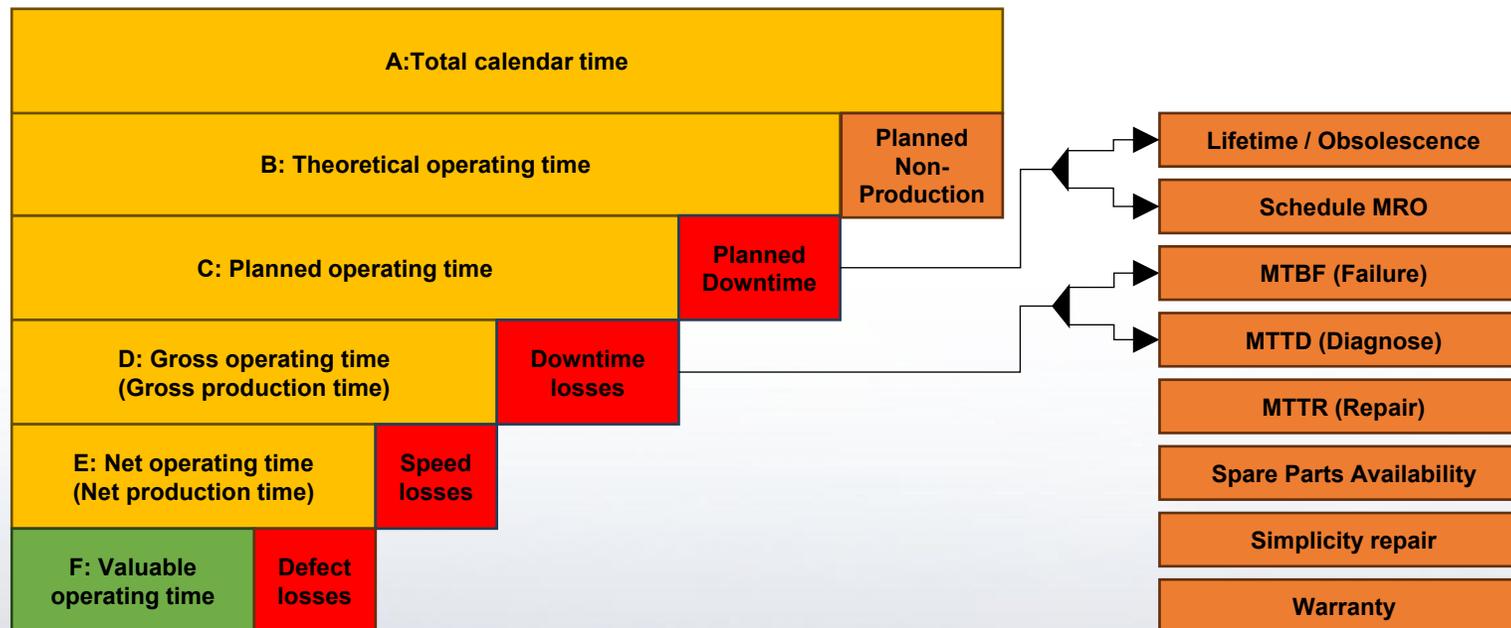


Confiabilidad del VSD Hidrodinámico

Tipo de variador de velocidad	VORECON
Unidades entregadas	1987 - 2010
Potencia nominal	600 kW a 31 200 kW
Velocidad de salida	de 495 rpm a 16 735 rpm
Unidades encuestadas	201
Horas de funcionamiento declaradas	8 065 000 h
Fallos notificados	19
Tiempo de inactividad notificado	1 743 h

Análisis de la eficiencia de mantenimiento

Maximizando el tiempo de producción real



Confiabilidad del VSD Hidrodinamico

$$MTBF(t) = \frac{8065000}{19} = 424474 \text{ h} \approx 48 \text{ años}$$

$$MTTR(t) = \frac{1743}{19} = 91,74 \text{ h} \approx 4 \text{ dias}$$

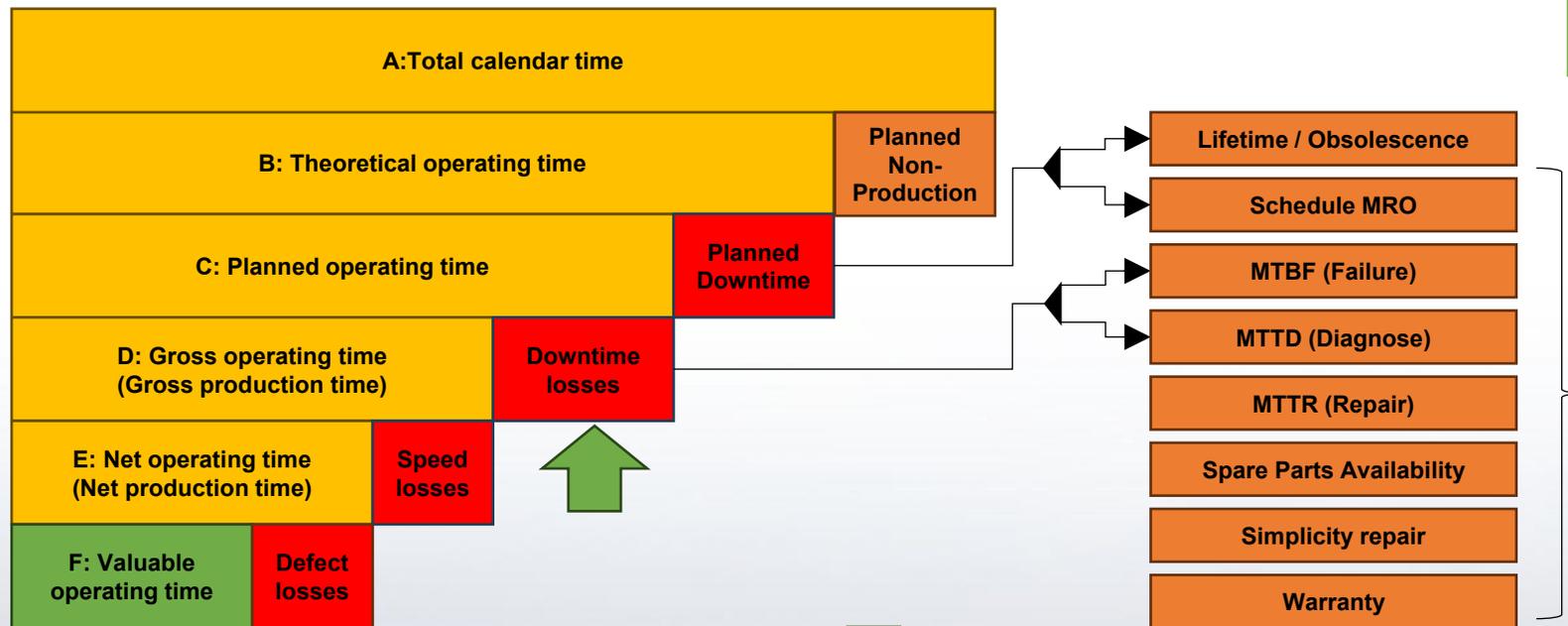
$$\lambda(t) = \frac{1}{424474} = 0,000002355 \text{ fallas/hora}$$

$$\text{Confiabilidad} = R(t) = e^{-\frac{1}{424474} \cdot 360} = 99,92\%$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{424474}{424474 + 91,74} = 99,98\%$$

Análisis de la eficiencia de mantenimiento

Maximizando la efectividad de los equipos



Confiabilidad del VSD Hidrodinamico

$MTBF(t) \approx 48 \text{ años}$

$MTTR(t) \approx 4 \text{ dias}$

$Confiabilidad = R(t) = 99,92\%$

$Disponibilidad = 99,98\%$

¿Como se justifica la alta Disponibilidad?

- Uso de pocos dispositivos electrónicos (**simple**)
- Baja sensibilidad del sistema (**robustos**)
- Baja obsolescencia (**repuestos 30 años**)
- Instalación simple/mediana (**sencillez**)
- Personal medianamente calificado (**sencillez**)
- Mantenimiento sencillo/mediano (**sencillez**)

$$OEE = Availability * Performance * Quality = \frac{D}{C} * \frac{E}{D} * \frac{F}{E} = \frac{F}{C}$$



**8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS**

 **22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento**

 **27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA**

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abraman**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

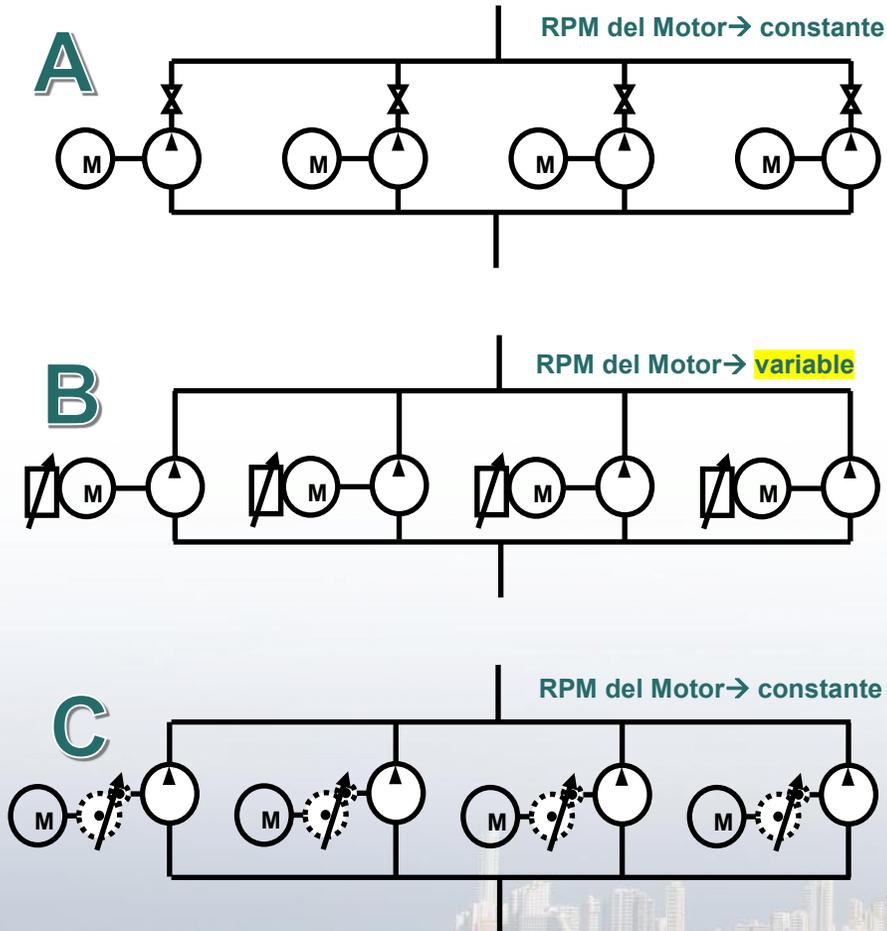
Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

5: Parámetros de evaluación para una producción efectiva



Determinantes de la productividad efectiva



Productividad	eficaz	eficiente	efectiva
Factor Determinante	A	B	C
Simplicidad del Diseño	ALTO	MEDIO	BAJO
Configuración y Disposición	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Eficiencia Energética	MUY BAJO	ALTO	ALTO
MTBF	MEDIO	MEDIO	ALTO
MTTR	MEDIO	MEDIO	ALTO
Disponibilidad	MEDIO	MEDIO	ALTO
Protección contra la obsolescencia	MEDIO	MUY BAJO	ALTO
Protección contra fallas	BAJO	MEDIO	ALTO
Gestion de fallas	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Simplicidad del Mantenimiento	ALTO	BAJO	MEDIO
Tiempo de vida	MEDIO	MEDIO	ALTO
Garantía de los equipos	MEDIO	ALTO	ALTO

Conclusiones

- Reducir componentes de alta **obsolescencia** → Diseño confiable
- Reducir el **número de componentes** → Diseño sencillo
- Evitar componentes **complejos y sensibles** → Diseño robusto
- Evitar **Sobre y Subdimensionamiento** → Diseño y operación efectiva
- Aplicar **redundancia** donde sea necesario → Diseño efectivo
- Distribuir los **riesgos** → Diseño preventivo (regla del 2x50%)
- Distribuir el portafolio tecnológico → Diseño preventivo (1xON/OFF+ 1x VSD)
- **Monitoreo** de las condiciones del sistema → Diseño predictivo (I/O Link)
- Equipos de **Mantenimiento sencillo** → Diseño efectivo
- Evitar la **reutilización** de equipos → Diseño efectivo



**8° CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS**

 **22° Congreso Iberoamericano de Mantenimiento**

 **27° Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA**

11 · 12 · 13

JUNIO · 2025

Centro de Convenciones
Cartagena de Indias · Colombia

 **abraman**
associação brasileira
de manutenção e gestão de ativos

Federación Iberoamericana
de Mantenimiento


ACIEM
Asociación Colombiana
de Ingenieros

Muchas Gracias

