



PATROCINADOR  
ORO+

**PHILIPS**

*Aplicación de herramientas de Confiabilidad para el modelado de un sistema de Gestión de Inventarios de Repuestos.*

**Consultoría Activa BCN, S.A.**

**Bernal Picado Argüello**

# Bienvenidos

## Ing. Bernal Picado Argüello, MEng



Ingeniero Industrial y Administrador de Empresas

Doctorando en Programa de Ingeniería de Organización Industrial.  
Universidad de Sevilla, España.

Master en Ingeniería de Confiabilidad, Mantenibilidad y Riesgo.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.

Consultor y capacitador asociado a la Cámara de Industrias de Costa Rica desde el año 2011.

Representante para Centroamérica de INGEMAN (Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería del Mantenimiento, Sevilla, España).

Consultor internacional con mas de 30 años de experiencia, quien también ha ocupado puestos gerenciales en las áreas de producción, mantenimiento y operaciones en empresas de diversos sectores.

Profesor Universitario en Ingeniería y Administración

Socio Director de Consultoría Activa BCN, S.A.



CONSULTORIA ACTIVA BARCELONA



MÁS COMPETITIVIDAD, MÁS EMPLEO



CONSULTORIA ACTIVA BARCELONA

Mejora integral de la Productividad mediante el uso de herramientas Lean – Six Sigma, TPM, Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento

Modelización e implementación de Sistemas de Gestión:

- Gestión de Calidad
- Gestión de Activos Físicos
- Gestión ambiental

Estudios de Cargas de Trabajo (con énfasis en empresas de servicios)

Algunos Sectores: Energía, Medical Devices, Farmacéutico, Alimentos, Transportes, Manufactura, Industrial, Servicios, Gobierno, etc.

Enfoque de la Ponencia

¿Qué es la  
CONFIABILIDAD?

Aplicación de herramientas de **Confiabilidad** para el modelado de un sistema de **Gestión de Inventarios de Repuestos** en empresa intensiva en uso de capital (Sector Energético).

Caso de estudio en el sector energético costarricense.



¿Qué es la  
CONFIABILIDAD?

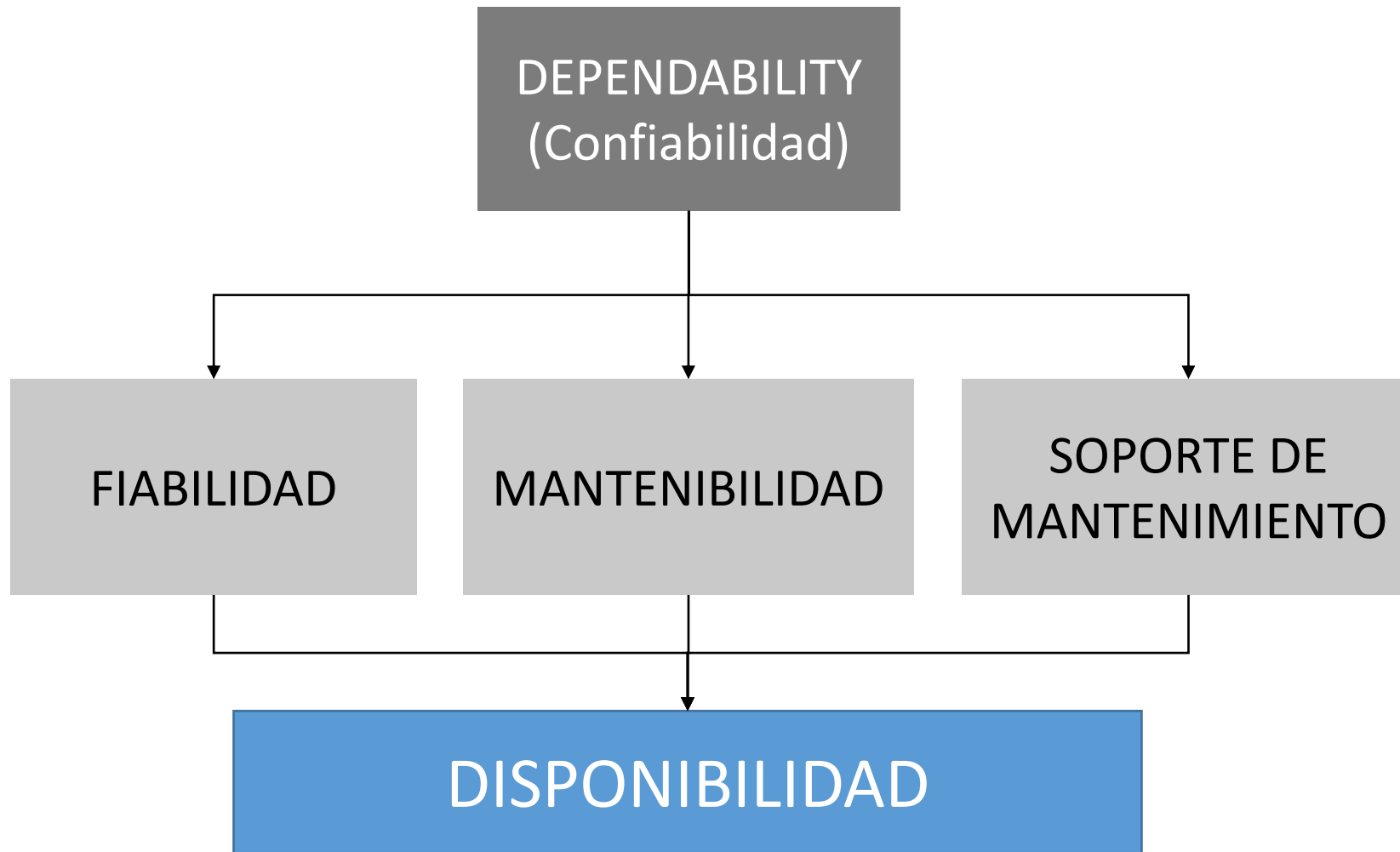
**Confiabilidad** es el término utilizado para describir las características dependientes del tiempo asociadas al funcionamiento de un elemento.

La Confiabilidad incluye características tales como DISPONIBILIDAD, FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD y SOPORTE DE MANTENIMIENTO, en condiciones dadas de utilización y requisitos de soporte de mantenimiento.

La Confiabilidad describe el **grado en el que se puede confiar en que algo** (en este caso, un activo físico) **se comporte como se espera.**

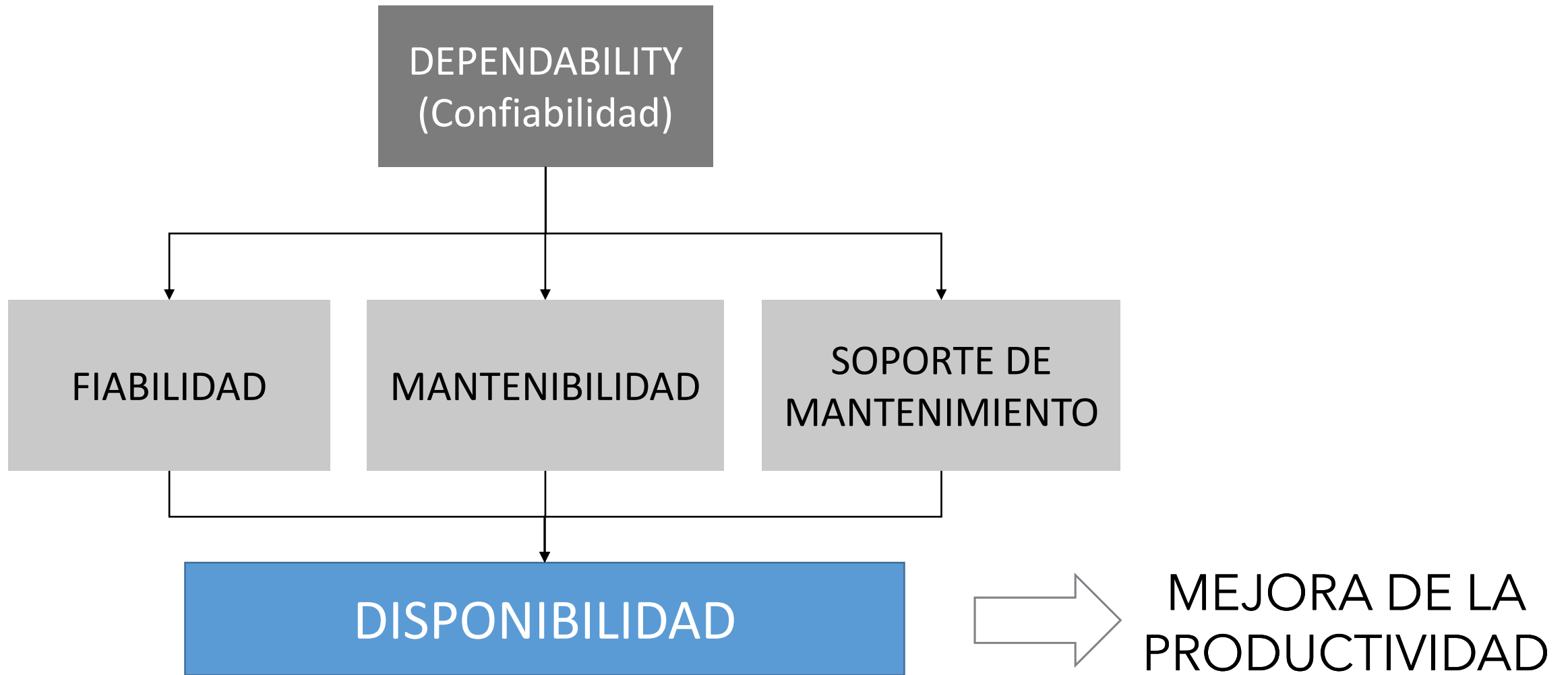


# Dependability Management (Confiabilidad)



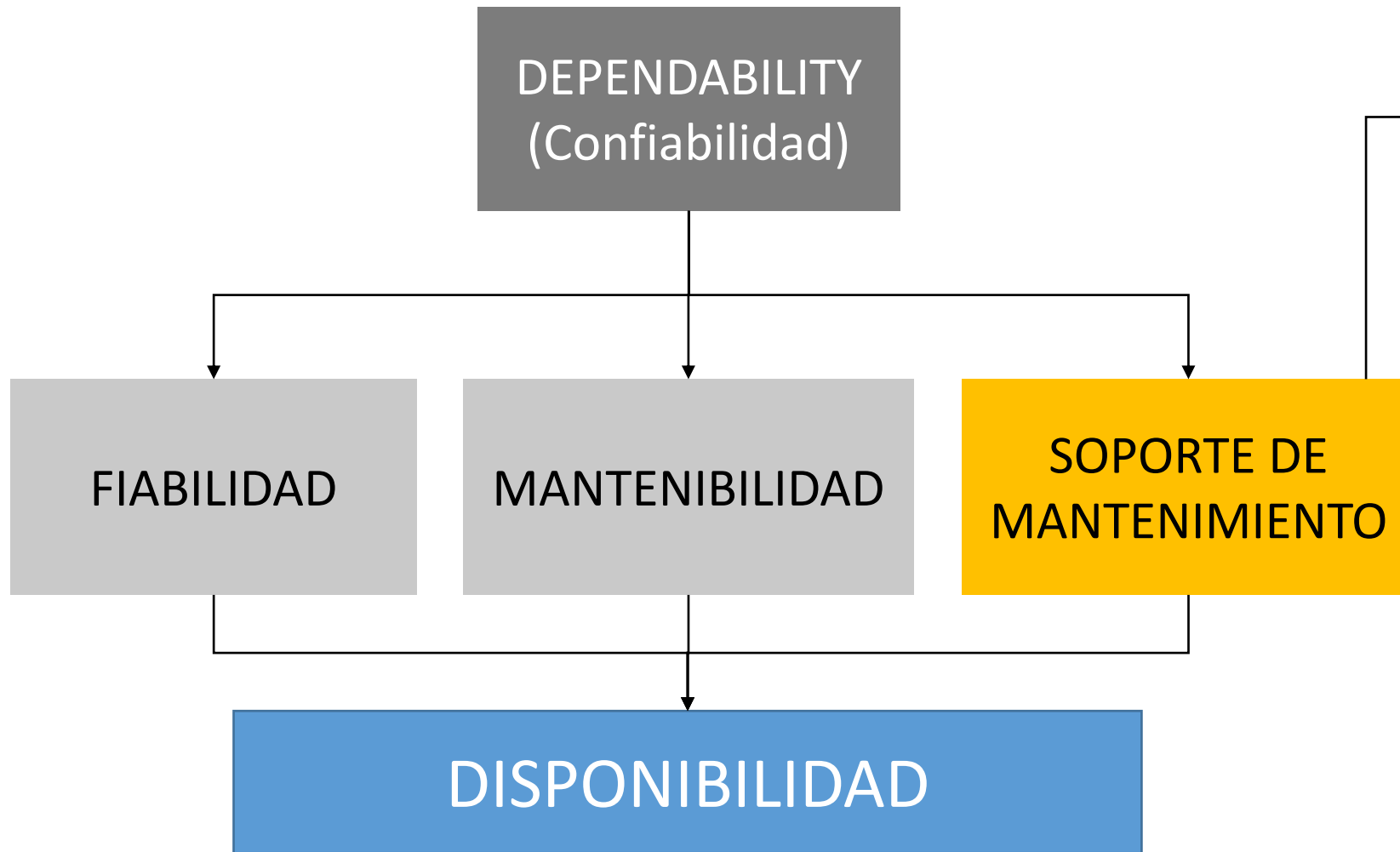
Fuente: Adaptado de Norma UNE-EN 60300-1:2018. Gestión de la confiabilidad. Parte 1: Directrices para su gestión y aplicación

# Dependability Management (Confiabilidad)



Fuente: Adaptado de Norma UNE-EN 60300-1:2018. Gestión de la confiabilidad. Parte 1: Directrices para su gestión y aplicación

# Dependability Management (Confiabilidad)



## Definición:

Provisión de recursos para mantener un elemento

## Incluyen:

- Recursos Humanos
- Equipamiento de Soporte
- **Materiales y repuestos**
- Instalaciones de Mantenimiento
- Documentación e información del mantenimiento



# Estado del arte en la gestión de inventarios de repuestos (MRO)

## Inventarios con características propias

- Rotación
- Estimación de demanda
- Especificaciones técnicas relevantes

## Necesaria adaptación de metodologías de análisis / mejora

- ABC - XYZ
- Moncrief
- Alfa-Beta-Gamma

Relevancia del análisis de criticidad sobre factores o criterios

Pérdidas relevantes por Indisponibilidad de Activos (Lucro Cesante)

Modelos de Optimización con enfoque segmentado

# Definiciones importantes



## TIEMPO DE APROVISIONAMIENTO

Tiempo transcurrido entre que se coloca un pedido u orden de compra a un proveedor y el repuesto ingresa a bodega o al lugar de la intervención de mantenimiento.



## STOCK O INVENTARIO DE SEGURIDAD (IS/SS)

Cantidad de repuestos factible técnica y económicamente rentable de mantener en inventario por encima del consumo promedio, para enfrentar las variaciones de la demanda. En modelos de optimización de inventario de repuestos está influenciado por el nivel de criticidad del repuesto y el equipo.



## PUNTO DE RE-ORDEN

Nivel de inventario mínimo para soportar una demanda normal de repuestos, que cubra el tiempo de aprovisionamiento y el inventario de seguridad.



# ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO

- Organización del Sector de Generación de Energía.
- Cuentas con diferentes ubicaciones en varios países centroamericanos. Prueba piloto en planta de Costa Rica
- Intensiva en uso de capital (Gran inversión en activos y repuestos).
- Inversión en Inventario de repuestos cercana a \$20 millones.
- El mantenimiento es el proceso más crítico de la operación.
- Lucro cesante relevante por indisponibilidad de repuestos.
- No cuenta con un modelo integral para gestionar el inventario de repuestos.



# Principales herramientas o metodologías utilizadas para optimizar la Gestión de Inventarios de Repuestos

Gestión por procesos

Análisis de Criticidad de repuestos

Caracterización de Moncrief

Categorización Alfa-Beta-Gamma

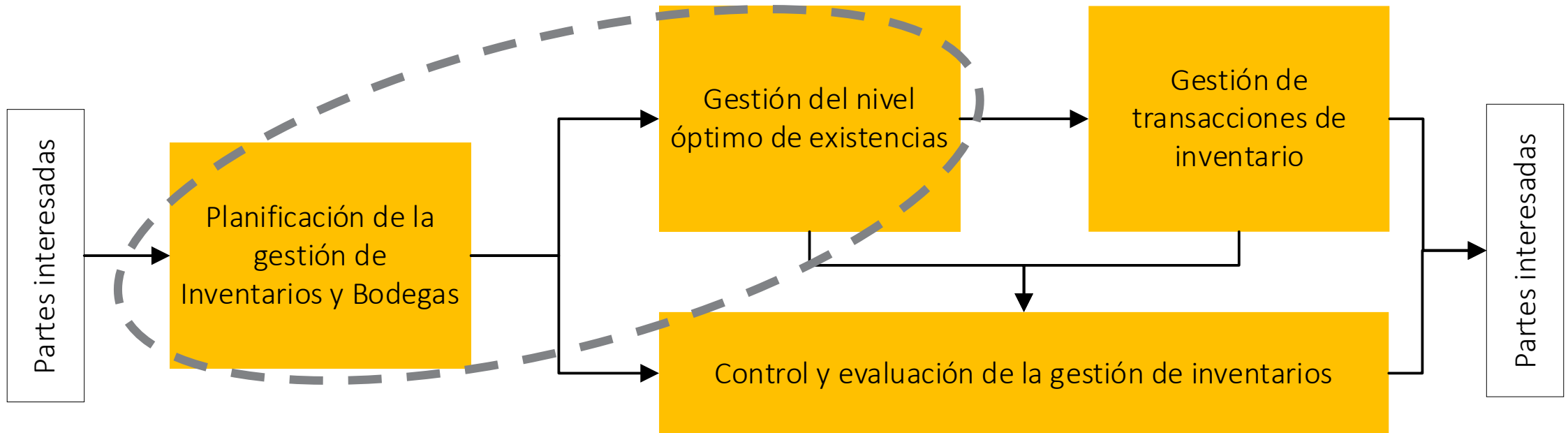
Análisis de fallos  
(demanda repuestos para mantenimiento correctivo)

Matriz de cálculo de parámetros de inventario

Uso de métricas (KPI's)

# Modelización de Procesos.

## Macroproceso Gestión de Inventarios y Bodegas de Repuestos



El proceso de Planificación establece los lineamientos y herramientas que permiten la gestión estructurada del Inventario de Repuestos. Esto es de vital importancia para crear insumos de información que permitan el despliegue de los otros procesos, pero en especial, **Gestión del nivel óptimo de Existencias**.



Ficha técnica de repuesto o material para mantenimiento



Matriz de criticidad asignado a cada categoría o familia de repuestos



Plan anual de requerimientos



Gestión del nivel óptimo de existencias



# Matriz de Criticidad de Repuestos

- Instrumento principal para realizar la Jerarquización de la importancia de cada repuesto.
- En la gestión de inventarios de repuestos, la Criticidad es el principal criterio a considerar
- Consta de 2 variables que aportan valor numérico a través del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

Variable: Impacto Operacional



Variable: Complejidad de Adquisición



# Caracterización del inventario de repuestos

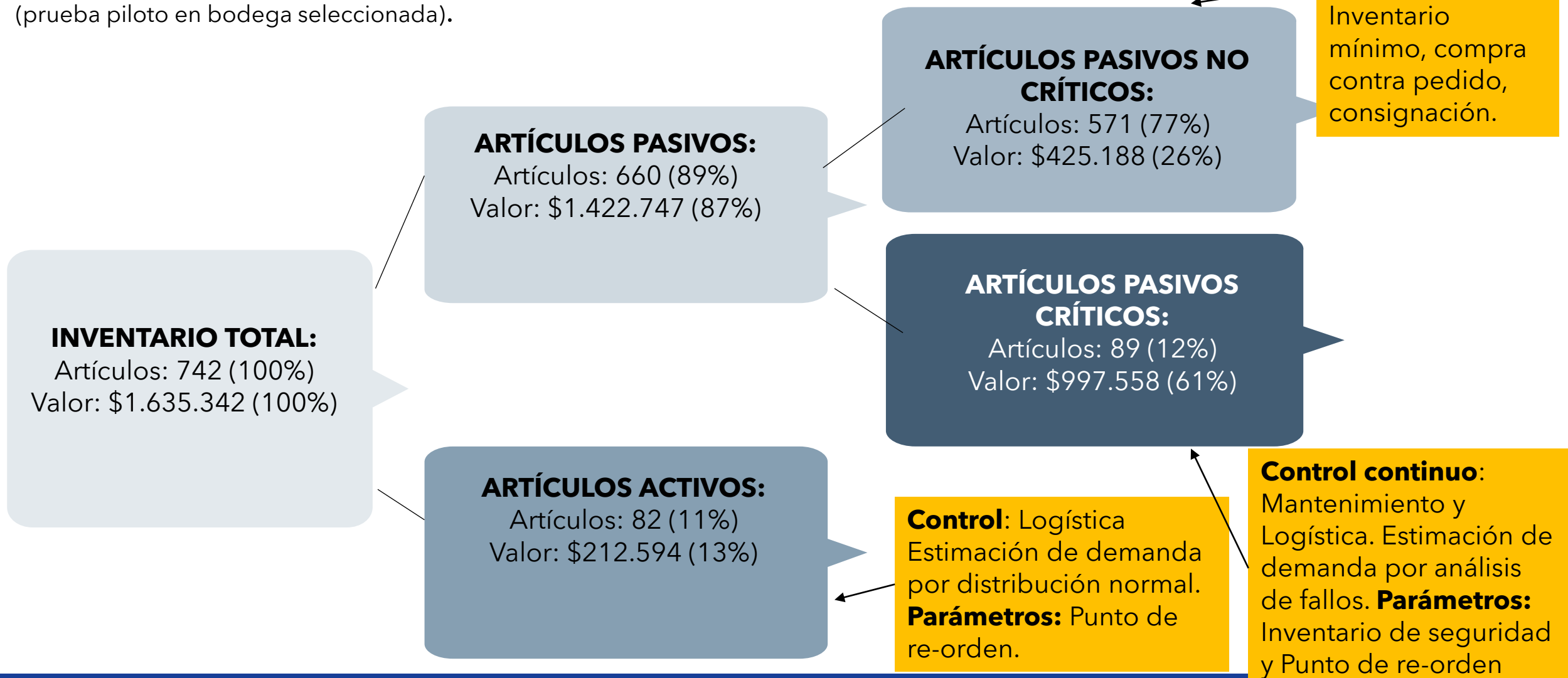
- Caracterización según metodología Moncrief
- Análisis Alfa-Beta-Gamma





# Caracterización del Inventario de repuestos. Metodología Moncrief.

(prueba piloto en bodega seleccionada).



Combinación de Impacto Operacional y Complejidad de Adquisición (Análisis Alpha-Beta-Gamma)

IMPACTO OPERACIONAL	ALTO	Alto impacto Plazo Bajo en adquisición <b>BETA</b>	Alto Impacto Plazo medio adquisición <b>ALPHA</b>	Alto Impacto Plazo Alto adquisición <b>ALPHA</b>
	MEDIO	Medio Impacto Plazo Bajo adquisición <b>GAMMA</b>	Medio Impacto Plazo Medio Adquisición <b>BETA</b>	Medio Impacto Plazo Largo Adquisición <b>ALPHA</b>
	BAJO	Bajo Impacto Plazo Bajo Adquisición <b>GAMMA</b>	Bajo Impacto Plazo Medio Adquisición <b>GAMMA</b>	Bajo Impacto Plazo Alto Adquisición <b>BETA</b>
		BAJO	MEDIO	ALTO
COMPLEJIDAD DE ADQUISICIÓN				

# Análisis de Fallos

- Utilizando la **Tasa de Fallos ( $\lambda$ )** definida como la cantidad de fallos estimada durante un periodo determinado se pueden estimar la cantidad de fallos críticos que ameriten el uso de un repuesto específico, utilizando las formulas probabilísticas de cálculo de fiabilidad (probabilidad de ocurrencia de un fallo en un periodo dado) de las siguientes distribuciones:
  - Weibull
  - Exponencial
  - Log Normal



# Matriz de cálculo de parámetros de inventario

- El **nivel de stock de seguridad** deseado, puede estimarse asumiendo que la disponibilidad de inventario se mide en términos de probabilidad de no-rotura de stock por ciclo de pedido.
- En este caso, el stock de seguridad puede modelarse como una función del **nivel de servicio ofrecido al cliente** (el proceso de producción / operación y en general a la propia organización) y de la **desviación estándar de la demanda de repuestos** durante el tiempo que dura su aprovisionamiento.
- Si se asume además que las distribuciones de la demanda y del tiempo de aprovisionamiento son independientes una de la otra, y se distribuyen de acuerdo a una distribución normal o distribución Weibull (la que observa más frecuentemente y es más flexible en el caso de aparición de fallos), el inventario de seguridad debe estar relacionado con el nivel de criticidad y puede calcularse de la siguiente manera:



# Determinación del Stock de Seguridad

$$SS = Z\sigma = Z\sqrt{\sigma_L^2\sigma_D^2 + L^2\sigma_D^2 + \sigma_L^2DM^2}$$



- SS Es el stock de seguridad en unidades de artículos de repuesto,
- $\sigma$  es la variabilidad conjunta de la demanda de piezas de mantenimiento durante el tiempo de aprovisionamiento
- L Es el tiempo medio de aprovisionamiento
- $\sigma_D$  Es la variabilidad de la demanda de piezas de repuesto por unidad de tiempo
- $\sigma_L$  Es la variabilidad del tiempo de aprovisionamiento
- DM Es la demanda promedio de repuestos
- Z Es un factor de seguridad, calculado en función al nivel de servicio que desea ofrecerse a los clientes, que va a depender de la criticidad del equipo (esta definida en tablas estadísticas)

Ejemplo de  
Matriz de  
Cálculo de  
Parámetros de  
Inventario



## % de Nivel de Servicio por categoría de inventario

**Fórmula:** Cantidad de repuestos entregados a conformidad (por categoría) / Cantidad de repuestos solicitados (por categoría)

**Frecuencia:** Mensual.

## Lucro cesante por indisponibilidad de repuestos

**Fórmulas:**

Sumatoria del valor económico del lucro cesante por indisponibilidad de repuestos (\$)

Valor económico del lucro cesante por indisponibilidad de repuestos / valor total del lucro cesante (%)

**Frecuencia:** Mensual.

## Rotación del inventario

**Fórmula:** Costo artículos despachados / Costo Promedio de inventarios = n unidad de tiempo rotación

% rotación en cada categoría de criticidad

**Frecuencia:** Mensual.

## Precisión o fiabilidad del inventario

Fórmula:  $\text{Sumatoria del valor económico físico} / \text{sumatorio valor económico en sistemas (\%)}$

Frecuencia: Anual o por toma física planificada

## Tiempo promedio de atención a solicitudes de materiales para mantenimiento

Fórmulas: Promedio de tiempo transcurrido desde el registro de una solicitud de materiales en CMMS hasta la entrega de los repuestos.

Frecuencia: Mensual.



# Resumen de resultados obtenidos





# Resumen de resultados obtenidos

- Se identifican y despliegan por medio de procedimientos de gestión 4 procesos en los que se desglosa el **Macroproceso** denominado **Gestión de Inventarios de Repuestos**.
- Se diseña y se implementa una **Matriz Combinada de Criticidad de Repuestos** con la participación de las partes interesadas (Logística, Mantenimiento, Compras, Ingeniería de Confiabilidad) y se valida con la información real de un almacén de la organización (prueba piloto en Costa Rica).



# Resumen de resultados obtenidos

- Utilizando la metodología de la **Caracterización de Moncrief** se identifican los segmentos de inventario de Alta Rotación / Baja Rotación / Críticos y No Críticos y se demuestra que hay coincidencia con los parámetros que utiliza dicha metodología. Como resultado se reasignan las responsabilidades y estrategias sobre el cálculo de los diferentes segmentos identificados y se definen inicialmente acciones concretas a realizar por cada una de las partes interesadas.
- Se propone un grupo o **Tablero de Indicadores** para controlar y medir el desempeño inicial del Sistema de Gestión de Inventarios de Repuestos implementado



# Conclusiones



## Naturaleza de los inventarios de repuestos

Los inventarios de repuestos tienen una naturaleza y características propias, por lo que no es recomendable usar metodologías / herramientas diseñadas para otros tipos de inventarios sin una adecuada personalización.

## Análisis de Criticidad

La Criticidad de los repuestos es un aspecto medular y de gran relevancia en la determinación de parámetros básicos de inventario y es necesaria para utilizar la gran mayoría de herramientas de análisis y mejora.



## Costo de indisponibilidad

Se debe tomar en cuenta que en muchos casos el costo por Lucro Cesante por indisponibilidad asociada a la carencia de un repuesto es muy superior al costo de mantener dicho repuesto.

## Responsabilidad Compartida

La responsabilidad sobre la Gestión de Inventarios de Repuestos debe ser compartida entre diferentes "socios de negocios" internos, tales como Mantenimiento y Compras, y no centrarse de manera individual en el área de Logística o similar.



# Bibliografía consultada

- AENOR. (2015). UNE-ISO 55000-1:2015. Gestión de activos. Sistemas de gestión. Requisitos. Madrid, España: Aenor.
- AENOR. (2017). *UNE-EN 62550:2017 Aprovechamiento de piezas de repuesto (Ratificado en 2017)*. Madrid: Aenor.
- Bharadwaj, U. (2010). Risk Based optimization of Spares Inventory Management. *Tesis de doctorado inédita*. Leicestershire, Inglaterra.
- Caballero Fedriani, F. J. (2017). Marco de referencia para la gestión de repuestos. Métodos para la mejora del proceso de toma de decisiones. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Crespo Márquez, A., & Parra, C. A. (2012). *Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos*. Sevilla: Digital Atres.
- Crespo Márquez, A., & Sola Rocique, A. (2016). *Principios y marcos de referencia de la gestión de activos*. Madrid: Aenor.
- Kennedy, W. (2002). An Overview of Recent Literature on Spare Parts Inventories. *International Journal of Production Economics*, 201-215.
- Monciref, E. C., Schroder, R. M., & Reynolds, M. P. (2005). *Production Spare Parts*. Connecticut: Industrial Press Inc.
- Pascual, R. e. (2017). Optimal repairable spare parts procurement policy under Total Business Volume Discount Environment. *Reliability Engineering System Safety*, 159, 276-282.
- Ricardo, R. (2021). *exonegocios*. Recuperado el 25 de mayo de 2021, de <https://exonegocios.com/intensivo-de-capital/>
- Trujillo Alvarado, L. (2018). Modelo integral de gestión de repuestos para mantenimiento en empresas intensivas en uso de capital. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Wang, W. (2012). A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. *European Journal of Operational Research*, 127-139.





**¡MUCHAS GRACIAS!**

