techno
TECHNOLOGY & INNOVATION





E-BOOK COMPLETO

# Conexiones eléctricas industriales

Ingeniería, confiabilidad y eficiencia en la industria

66 páginas | 7 partes · 29 capítulos | Checklist profesional

CONTENIDO TÉCNICO
**Mario Adinolfi**
Director de Techno do Brasil

ANÁLISIS Y CURADURÍA
**Prof. Vagner Soares**
Manufatura Enxuta

Esta es la versión completa, para consulta y especificación. También existe el **e-book básico**, introductorio, de 20 páginas.

# Cómo usar esta guía

Este material está organizado en siete partes independientes. Quien proyecta puede empezar por la Parte II. Quien hace mantenimiento, por la Parte III. Quien compra o responde por resultados, por la Parte IV. Quien conduce la mejora continua, por la Parte VII.

A lo largo del texto, cada información indica su origen:

| MARCADO | SIGNIFICADO |
|---|---|
| TECHNO | Dato del catálogo general o de la presentación técnica de la empresa |
| NORMA | Contenido de norma técnica IEC, ISO, ABNT, EN o UL |
| LITERATURA | Concepto consolidado en la literatura de mantenimiento, confiabilidad o Lean |
| EJEMPLO DIDÁCTICO | Número o situación hipotética, creada para explicar un concepto |

Ningún ejemplo didáctico representa un resultado medido en un cliente. Cuando existe un dato real, el texto indica la fuente.

**Contenido técnico:** Mario Adinolfi, Director de Techno do Brasil. **Análisis y curaduría:** Prof. Ing. Vagner Soares, portal Manufatura Enxuta (manufaturaenxuta.com.br).

# Índice

**Parte I. Fundamentos**

1. La conexión como elemento estratégico de la producción
2. Anatomía y funcionamiento
3. Tecnologías y funciones
4. Ambientes industriales y sus exigencias

**Parte II. Ingeniería y especificación**

5. El método de selección en tres etapas
6. Dimensionamiento y compatibilidad
7. Grado de protección: IP66, IP67, IP68 e IP69
8. Resistencia mecánica: el código IK
9. Materiales, sellado y envejecimiento
10. Condensación, infiltración y capilaridad
11. Errores comunes de especificación e instalación

**Parte III. Confiabilidad y mantenimiento**

12. Conexiones y TPM
13. Inspección y mantenimiento planificado
14. Señales de degradación y diagnóstico
15. Confiabilidad, disponibilidad y paradas no planificadas

**Parte IV. Lean y competitividad**

16. Los desperdicios empiezan en la elección del componente
17. Conexiones y OEE
18. Costo total de propiedad
19. El costo invisible de las fallas eléctricas

**Parte V. Aplicaciones y casos**

20. Aplicaciones en ambientes hostiles
21. Estudios de caso
22. Lecciones aprendidas

**Parte VI. Tecnología y soluciones**

23. La tecnología de Techno
24. Familias de producto y datos técnicos
25. Cómo evaluar soluciones
26. Checklist profesional de especificación

**Parte VII. Caja de herramientas**

27. Las herramientas y dónde entra cada una
28. Del problema al estándar: una ruta aplicada
29. Para profundizar: ruta de lectura

Preguntas frecuentes | Conclusión | Créditos | La empresa | Glosario | Referencias



PARTE

I

# Fundamentos de las conexiones industriales


01 La conexión como elemento estratégico de la producción

02 Anatomía y funcionamiento

03 Tecnologías y funciones

04 Ambientes industriales y sus exigencias

CAPÍTULO 01

# La conexión como elemento estratégico de la producción

Un proyecto eléctrico detalla cargas, protecciones y calibres. Rara vez indica cuántas veces se interrumpe el cable entre el tablero y la carga. Sin embargo, es en esas interrupciones donde se decide la confiabilidad del circuito.

El cable es continuo y protegido. El motor es cerrado. El sensor viene sellado de fábrica. El empalme, la derivación, la entrada al tablero y la conexión al equipo son los puntos donde alguien, en campo, tiene que reconstruir el aislamiento y el sellado que el cable traía de fábrica.

Tres razones hacen estratégico este punto:

1. **Trabaja en serie.** Una sola conexión con falla detiene todo el circuito.
2. **Falla en silencio.** La degradación por humedad y oxidación es lenta y queda oculta en cajas y canaletas.
3. **Cuesta poco y decide mucho.** El precio del componente es pequeño frente al costo de una parada.

**IDEA CENTRAL**

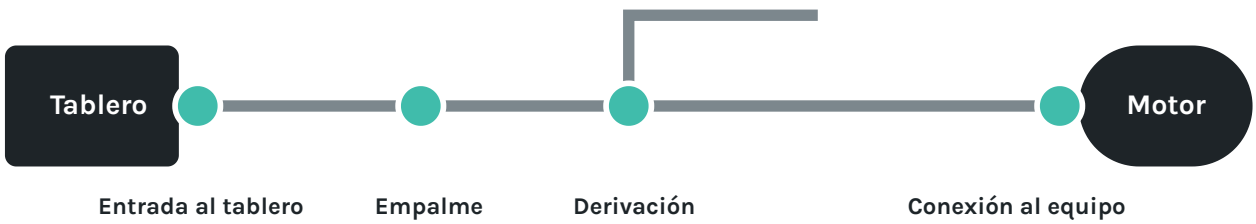
Tratar la conexión como un ítem de la lista de compras traslada el costo de la decisión a mantenimiento y a producción.



**VISIÓN DEL INGENIERO**

El proyecto eléctrico detalla cargas, protecciones y calibres, pero casi nunca indica cuántas veces se interrumpe el cable en una línea crítica. Sin ese número no es posible calcular la confiabilidad del circuito ni priorizar inversiones.

**Prof. Vagner Soares, Manufatura Enxuta**




Cada punto verde es una interrupción del cable, donde la protección original debe reconstruirse en campo.

CAPÍTULO 02

# Anatomía y funcionamiento

Toda conexión de alta protección está formada por los mismos elementos.

| ELEMENTO | FUNCIÓN | MATERIALES CITADOS EN EL CATÁLOGO TECHNO |
|---|---|---|
| **Contactos** | Conducen corriente o señal | Latón, con tornillos de acero |
| **Cuerpo aislante** | Separa los polos y sostiene los contactos | PA66 con fibra de vidrio, UL94 V0 |
| **Envolvente** | Protege del ambiente externo y de los impactos | PA66, con o sin fibra de vidrio |
| **Sellos** | Cierran las interfaces entre las piezas | TPE o silicona, según la serie |
| **Prensacables** | Sujeta el cable y sella el paso | PA66 UL94 V2, con sello de TPE |
| **Traba** | Mantiene el acople bajo vibración | Push-pull, rotación o bayoneta |

## Cómo se hace el contacto

La forma de sujetar el conductor cambia el tiempo de instalación y la herramienta. El código Techno indica el sistema TECHNO:

| PREFIJO | SISTEMA DE CONTACTO | CARACTERÍSTICA |
|---|---|---|
| **THB** | Tornillo | Solución tradicional, amplio rango de secciones |
| **THS** | Resorte | Sin herramienta, acepta cable rígido y flexible |
| **THP** | Perforante (piercing) | Contacto sin pelar el conductor |
| **THF** | Encaje | Montaje rápido |
| **THC** | Sobremoldeado | Cable moldeado de fábrica en el conector |

## Cómo se hace el sellado

Hay tres caminos de entrada de agua en un conector, y cada uno pide una barrera:

- **Entre las partes de la envolvente:** sellado por juntas.
- **Alrededor del cable:** sellado por el prensacables, que comprime una goma sobre la cubierta.
- **Por dentro del cable:** los espacios entre los hilos del conductor funcionan como capilares. Este camino solo se cierra con una barrera interna, tema del capítulo 10.

CAPÍTULO 03

# Tecnologías y funciones

El catálogo de Techno se organiza por la función que el punto cumple en el circuito, y no por sector TECHNO. Esa lógica ayuda a especificar: primero se define qué hace el punto y después el ambiente donde trabaja.

| FUNCIÓN | SOLUCIÓN | CUÁNDO USARLA |
|---|---|---|
| **Empalmar** | Conector lineal | Reparación o extensión de cable, conexión permanente |
| **Derivar** | Conector en T, Y o H | Una entrada y dos o tres salidas, como en alumbrado en secuencia |
| **Desconectar** | Conector macho y hembra | Equipo retirado para mantenimiento, calibración o reemplazo |
| **Entrar al tablero** | Conector de panel | Conexión desde afuera, sin abrir el equipo |
| **Distribuir** | Caja o distribuidor | Varios cables, bornes o electrónica en el mismo punto |
| **Sellar el paso** | Prensacables | Entrada de cable en caja o máquina |

## ¿Permanente o desconectable?

La pregunta que separa un empalme de un conector macho y hembra es simple: **¿con qué frecuencia se abrirá este punto?**

- Si la respuesta es "nunca, salvo reparación", el empalme basta y ocupa menos espacio.
- Si el equipo se retira para mantenimiento o calibración, el conector macho y hembra reduce el tiempo de cambio y elimina el riesgo de invertir fases al reconectar.

El catálogo declara el número de ciclos de conexión y desconexión por serie, 100 o 1.000 ciclos TECHNO. Ese dato orienta la elección en puntos de uso frecuente.

## ¿Montado en campo o precableado?

En las versiones precableadas, el cable sale de fábrica ya moldeado en el conector. El catálogo describe opciones de 2 a 5 polos, hasta 17,5 A y 500 V, grado IP68 y cables de 0,5 a 5 m, con pruebas eléctricas y mecánicas en cada producción TECHNO. La etapa de montaje y prueba sale del campo y pasa a la fábrica.

**1**

**¿Qué hace el punto?**

- Empalmar o derivar
- Desconectar
- Entrar al tablero
- Distribuir o sellar

**2**

**¿Se abrirá con frecuencia?**

- No: empalme
- Sí: macho y hembra
- Verificar los ciclos de la serie

**3**

**¿Montaje en campo o en fábrica?**

- Campo: tornillo o resorte
- Fábrica: versión precableada y probada

CAPÍTULO 04

# Ambientes industriales y sus exigencias

El ambiente define la conexión. La tabla reúne aplicaciones mostradas en el catálogo y en la presentación técnica de Techno, con el agresor dominante de cada una.

| AMBIENTE | AGRESOR DOMINANTE | EXIGENCIA PRINCIPAL |
|---|---|---|
| **Alimentos y plantas cárnicas** | Lavado con agua caliente y química, choque térmico | Resistencia a chorros de alta presión y alta temperatura |
| **Saneamiento** | Inmersión, aguas residuales, humedad constante | IP68, materiales resistentes a la hidrólisis |
| **Papel y celulosa** | Humedad, calor, productos químicos | Sellado estable bajo calor continuo |
| **Redes subterráneas** | Inundación de las cajas de registro | Inmersión prolongada, conexión reinspeccionable |
| **Áreas exteriores** | Sol, lluvia, ciclo térmico diario | Resistencia a UV y control de la condensación |
| **Granos y molienda** | Polvo fino, vibración | Sellado contra polvo y traba segura |
| **Puertos y zonas costeras** | Niebla salina | Resistencia a la corrosión |
| **Maquinaria agrícola y vehículos** | Lavado, vibración, impacto | Traba, IK elevado y protección contra chorros |
| **Instrumentación de campo** | Cámaras inundables, calibración periódica | Desconexión rápida con alta protección |

**CONSEJO PRÁCTICO**

Describa el ambiente por lo que ocurre en el peor día del año, y no por lo que ocurre la mayor parte del tiempo. El conector tiene que sobrevivir al peor día.


Planta cárnica


Red subterránea


Iluminación de piso


Iluminación exterior

Fotos de aplicaciones reales. Fuente: presentación técnica Techno.

**PARA PROFUNDIZAR**

- Conexões elétricas industriais: o ponto fraco da produção
- Techno do Brasil: tecnologia em conexões elétricas

PARTE

II

# Ingeniería y especificación técnica


05 El método de selección en tres etapas

06 Dimensionamiento y compatibilidad

07 Grado de protección: IP66, IP67, IP68 e IP69

08 Resistencia mecánica: el código IK

09 Materiales, sellado y envejecimiento

10 Condensación, infiltración y capilaridad

11 Errores comunes de especificación e instalación

CAPÍTULO 05

# El método de selección en tres etapas

La presentación técnica de Techno resume la especificación en tres etapas, para una instalación eléctrica o de señal correcta y duradera TECHNO.

## Etapa 1: análisis del ambiente externo

Siete agentes deben evaluarse en el punto exacto de la instalación:

1. Humedad
2. Agua
3. Química
4. Presión
5. Calor
6. Variación de temperatura
7. Condensación

## Etapa 2: elección y armonización de los cables

Cuatro datos del cable entran en la especificación:

1. Diámetro exterior
2. Número de polos
3. Sección de cada polo
4. Especificación técnica del cable

## Etapa 3: eliminación de los puntos débiles

1. Dibujar el plano del circuito.
2. Medir las distancias entre los componentes.
3. Identificar y cuantificar todas las interrupciones del cable.
4. Clasificar cada interrupción: empalme recto, derivación en T, en Y, en H o múltiple.
5. Destacar los cambios de dimensión del cable en las interrupciones.
6. Medir las distancias entre las interrupciones.

> **POR QUÉ LA ETAPA 3 ES LA MÁS OLVIDADA**
>
> Las etapas 1 y 2 tratan cada punto por separado. La etapa 3 mira el circuito completo. Ahí se descubre que una línea crítica tiene veinte interrupciones cuando podría tener doce.

CAPÍTULO 06

# Dimensionamiento y compatibilidad

## Parámetros eléctricos

| PARÁMETRO | QUÉ VERIFICAR |
|---|---|
| **Corriente** | Corriente nominal de la serie igual o superior a la del circuito |
| **Tensión** | Tensión nominal de la serie igual o superior a la del circuito |
| **Número de polos** | Potencia y señal pueden exigir polos y conectores distintos |
| **Sección del conductor** | Debe estar dentro del rango del borne |
| **Corriente alterna o continua** | Confirmar la aplicación en CC, como en alumbrado e IoT |

En el catálogo de Techno, las series cubren hasta 41 A y 690 V en los empalmes TEETUBE y hasta 25 A y 630 V en los conectores TEEPLUG TECHNO.

## Temperatura: dos datos distintos

El catálogo trae dos informaciones de temperatura que no deben confundirse TECHNO:

- **Temperatura mínima y máxima del material:** en la mayoría de las series, de −40 °C a +125 °C.
- **T-marking:** la temperatura de operación para la que se calificó la serie, que varía entre +60 °C, +85 °C, +100 °C y +125 °C según el producto.

El dato que limita la aplicación es el T-marking de la serie.

## El cable forma parte del sellado

El prensacables sella comprimiendo una goma sobre la cubierta del cable. Solo funciona dentro del rango de diámetro indicado.

- **Cable demasiado fino:** la goma no alcanza la compresión necesaria.
- **Cable demasiado grueso:** la goma se aplasta y sufre deformación permanente.
- **Cable ovalado o con cubierta irregular:** el sellado queda desigual.

La deformación permanente por compresión, conocida como compression set, es el fenómeno en que la goma pierde fuerza con el tiempo LITERATURA. Mantener el cable en el rango correcto preserva el margen de sellado.

## Material de la cubierta del cable

La presentación de Techno destaca dos materiales TECHNO:

| MATERIAL | CARACTERÍSTICA | INDICACIÓN |
|---|---|---|
| **EPR** | Flexibilidad y buen desempeño en agua y lugares húmedos | Redes subterráneas, áreas mojadas |
| **PU a base de poliéter (TPU)** | Inmune a la hidrólisis: no se degrada con agua dulce o salada, humedad o efluentes. Compatible con aceites minerales, grasas, solventes y ácidos y bases débiles | Saneamiento, ambientes con aceite |

Para los conductos, la misma presentación recomienda PVC corrugado amarillo en paredes, PVC corrugado naranja en losas y pisos, y polietileno de alta densidad negro, con protección UV, en áreas exteriores TECHNO.

**CONSEJO PRÁCTICO**

Mida el diámetro exterior con calibrador, en el cable real que se va a instalar. El valor de catálogo del cable puede variar entre fabricantes.




Vista en corte esquemática del prensacables. El sello (en color) solo trabaja dentro del rango de diámetro indicado.

CAPÍTULO 07

# Grado de protección: IP66, IP67, IP68 e IP69

## La lógica del código

El código IP está definido por la IEC 60529, adoptada en Brasil como ABNT NBR IEC 60529 NORMA. La norma se aplica a envolventes de equipos eléctricos con tensión nominal de hasta 72,5 kV.

- **Primer dígito (0 a 6):** protección contra sólidos y polvo. El nivel 6 significa totalmente protegido contra el polvo.
- **Segundo dígito (0 a 9):** protección contra el agua.
- **Letra X:** indica que ese aspecto no fue clasificado.

| SEGUNDO DÍGITO | CONDICIÓN DE ENSAYO NORMA |
|---|---|
| 5 | Chorros de agua |
| 6 | Chorros potentes de agua |
| 7 | Inmersión temporal |
| 8 | Inmersión continua, en condiciones acordadas entre fabricante y usuario, más severas que las del nivel 7 |
| 9 | Chorros de agua de alta presión y alta temperatura |

## Los dígitos de agua no forman una escalera

Hasta el nivel 6, cada grado incluye los anteriores. Del 7 en adelante, no. Chorro e inmersión son ensayos de naturaleza distinta, y aprobar uno no garantiza aprobar el otro NORMA. Por eso los fabricantes declaran marcados combinados, como IP66/IP68 o IP66/IP68/IP69.

## Lectura práctica de cada grado

**IP66.** El polvo no entra y los chorros potentes no causan daño. Es el grado para lluvia fuerte, áreas exteriores y lavado con manguera.

**IP67.** Soporta inmersión temporal. Sirve para puntos que pueden inundarse por poco tiempo.

**IP68.** Soporta inmersión continua. La profundidad y el tiempo del ensayo los declara el fabricante. Dos productos IP68 pueden haberse ensayado en condiciones muy distintas.

**IP69.** Soporta chorros a corta distancia, con alta presión y alta temperatura. La presentación de Techno cita 80 °C y de 80 a 100 bar TECHNO, valores coherentes con el ensayo descrito en la norma.

**¿IP69 O IP69K?**

El marcado IP69K nació en el sector automotriz y hoy está en la ISO 20653, norma para vehículos de carretera. En 2013, la IEC 60529 incorporó un ensayo equivalente como segundo dígito 9. El catálogo de Techno usa la forma IP69. La presentación técnica usa IP69K. Ambas indican resistencia al lavado con alta presión y alta temperatura.

## La lectura norteamericana: NEMA 6 y 6P

La presentación de Techno cita también las clasificaciones NEMA TECHNO:

- **Type 6:** protección contra la entrada de agua en sumersión temporal, a profundidad limitada.
- **Type 6P:** protección en sumersión prolongada, con resistencia a ambientes corrosivos.

La clasificación NEMA no es una traducción directa del IP, porque incluye requisitos que el IP no evalúa, como la corrosión.

## Lo que el IP no dice

**ATENCIÓN**

El grado IP resulta de un ensayo de tipo: producto nuevo, montado correctamente, a temperatura estable, por tiempo limitado y con agua que viene de afuera. No evalúa el envejecimiento por UV, ozono, niebla salina o calor, ni la condensación que se forma por dentro.

Tres preguntas para hacerle al fabricante:

1. ¿Cuál es la profundidad y la duración del ensayo IP68?
2. ¿El grado vale para el conjunto acoplado o también para la hembra sin el macho?
3. ¿En qué rango de diámetro de cable se obtuvo el grado?



**VISIÓN DEL INGENIERO**

Una sigla de grado de protección no se compara con otra sigla. Se compara la condición de ensayo con la condición de uso. Cuando la ficha técnica no indica profundidad, tiempo y rango del cable, la comparación entre proveedores todavía no empezó.

**Prof. Vagner Soares, Manufatura Enxuta**



### IP66

**CHORRO POTENTE**

Áreas exteriores y lavado con manguera



### IP67

**INMERSIÓN TEMPORAL**

Puntos sujetos a inundación breve



### IP68

**INMERSIÓN CONTINUA**

Cajas subterráneas, bombas y sondas



### IP69

**ALTA PRESIÓN Y TEMPERATURA**

Higienización en alimentos y plantas cárnicas

CAPÍTULO 08

# Resistencia mecánica: el código IK

La norma IEC 62262, equivalente a la EN 62262 europea y adoptada en Brasil como ABNT NBR IEC 62262, clasifica la protección de las envolventes contra impactos mecánicos externos NORMA. El código tiene dos dígitos, asociados a la energía de impacto.

| GRADO IK | ENERGÍA DE IMPACTO | LECTURA PRÁCTICA |
|---|---|---|
| **IK06** | 1 J | Manipulación ligera |
| **IK07** | 2 J | Impactos ligeros de instalación |
| **IK08** | 5 J | Uso industrial general |
| **IK09** | 10 J | Áreas con movimiento de materiales |
| **IK10** | 20 J | Áreas sujetas a impacto severo |

La enmienda de 2021 a la norma agregó el grado IK11, de 50 J NORMA.

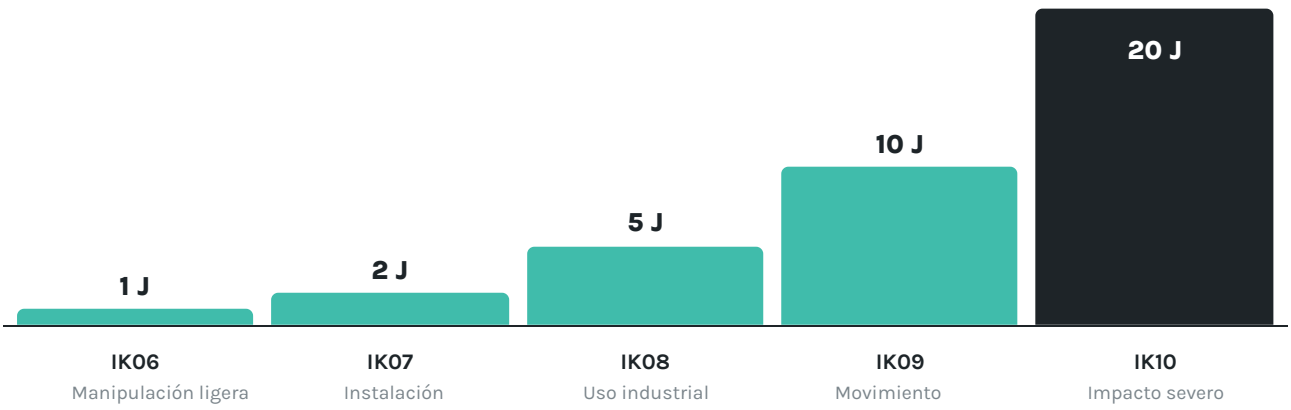
## Cómo aparece el IK en el catálogo de Techno

El grado varía según la serie TECHNO:

- IK07 en derivaciones como TH390, TH402 y TH399 y en conectores como TH387;
- IK08 en cajas como TH209, TH211, TH219 y TH212;
- IK10 en versiones reforzadas, como la TH400 UP y la caja IoTH210.

**ERROR COMÚN**

Especificar IP68 para una caja instalada a nivel de piso en un patio y olvidar el impacto. La caja se agrieta con la primera rueda, y el grado IP deja de existir. En puntos sujetos a golpes, IP e IK se especifican juntos.



CAPÍTULO 09

# Materiales, sellado y envejecimiento

El grado IP muestra cómo se comporta el conector cuando es nuevo. Los materiales definen cómo se comporta después de años.

## El cuerpo: poliamida 66 con fibra de vidrio

Techno utiliza nailon 66 cargado con fibra de vidrio. Según la presentación de la empresa, el refuerzo del 30% confiere estabilidad de forma y resistencia al uso TECHNO.

## Ensayos y clasificaciones declarados

| AGENTE | ENSAYO O CLASIFICACIÓN | QUÉ REPRESENTA |
|---|---|---|
| **Llama** | UL 94 V0 y V2, según la pieza | Comportamiento del plástico frente a la llama |
| **Hilo incandescente** | Glow-wire 850 °C y 960 °C | Resistencia al contacto con partes incandescentes |
| **Uso exterior** | UL 746C, clasificación f1 | Aptitud para exposición a UV y agua |
| **Inflamabilidad de la envolvente** | UL 94 5VA | Clase más severa de la UL 94 |
| **Radiación UV** | Ensayo según EN 60079-0, 1.000 horas | Resistencia a la luz solar |
| **Ozono** | ISO 1431-1 | Resistencia de la goma al agrietamiento |
| **Niebla salina** | EN 60068-2-11 | Resistencia a la corrosión |
| **Impacto** | EN 62262 | Grado IK |

Fuente de los datos de la tabla: presentación técnica y catálogo general TECHNO.

## Composición

El catálogo y la presentación declaran materiales TECHNO:

- **libres de halógenos**, en conformidad con REACH y RoHS;
- **libres de silicona** en varias series, aspecto relevante para líneas de pintura, donde la silicona es un contaminante;
- **sin azufre**, por compatibilidad con LED.

La indicación "Silicone Free" no vale para todas las series. Algunas usan juntas de silicona para soportar temperaturas más altas. Hay que consultar la ficha de cada serie.

## Resistencia química

La presentación de Techno incluye una tabla de resistencia química de los materiales. Entre los agentes indicados como compatibles están amoníaco, cloruro de calcio, gasolina, fertilizantes, aceites lubricantes, petróleo, fosfatos y agua de mar. Alcohol metílico y cloro aparecen con resistencia parcial TECHNO.

> **ATENCIÓN**
>
> Las tablas de resistencia química son guías generales. Concentración, temperatura y tiempo de contacto cambian el resultado. Para detergentes y sanitizantes específicos, consulte al fabricante con la ficha del producto químico en mano.

## El sellado co-moldeado

En el sellado co-moldeado, plástico y goma se inyectan juntos y se adhieren química y mecánicamente. Techno indica tres efectos TECHNO:

- instalación rápida, con pocos componentes;
- reducción de errores de instalación, con juntas antipérdida;
- mayor resistencia, por la adherencia entre plástico y goma.

Desde el punto de vista de la ingeniería, cada pieza suelta eliminada es una interfaz menos que puede fallar y un paso menos en el que equivocarse.




Prensacables TEEGLAND® con sellado co-moldeado. El anillo verde agua se inyecta junto con el cuerpo: no existe pieza suelta que colocar ni anillo de sello que olvidar en el montaje. Fotos: Techno do Brasil.

CAPÍTULO 10

# Condensación, infiltración y capilaridad

El agua dentro de un conector no significa necesariamente un sellado defectuoso. Hay tres mecanismos distintos, y cada uno pide una acción diferente.

## Mecanismo 1: infiltración

Es el agua que entra desde afuera, por sellado deficiente o montaje incorrecto: cable fuera del rango de diámetro, conector sin trabar, apriete incorrecto, junta dañada. La corrección está en la instalación.

## Mecanismo 2: respiración térmica y condensación

Una envolvente sellada que se calienta y se enfría se comporta como una pequeña bomba. Por la ley de los gases, la presión interna acompaña a la temperatura absoluta.

> **ORDEN DE MAGNITUD (EJEMPLO DIDÁCTICO)**
>
> El aire interno a 60 °C (333 K) que se enfría hasta 20 °C (293 K) pierde cerca del 12% de la presión. En valores aproximados, es una depresión de 0,12 bar, equivalente a una columna de agua de 1,2 m.

Esa depresión aspira aire húmedo por cualquier microcamino. Dentro de la envolvente, el vapor se condensa en las superficies frías cuando la temperatura baja del punto de rocío. Cada ciclo deposita poco, pero el agua no tiene por dónde salir y se acumula.

El aire a 30 °C y 80% de humedad relativa contiene cerca de 24 g de vapor por metro cúbico. A 15 °C, el aire saturado contiene cerca de 13 g por metro cúbico. La diferencia se convierte en agua líquida LITERATURA, DATOS DE PSICROMETRÍA.

## Mecanismo 3: capilaridad por el cable

Los espacios entre los hilos de un conductor multifilar funcionan como capilares. El agua que llega al extremo del cable, en un empalme sumergido o en una terminación mal sellada, migra por su interior, incluso con la cubierta intacta y el prensacables bien apretado.

Cuando el equipo respira, la succión se suma a ese camino. Sellar solo la cubierta exterior no resuelve.

## La solución por barrera: xDRY®

La tecnología xDRY®, descrita en el catálogo de Techno como sistema anticondensación patentado, coloca una barrera entre el conector y el equipo, e interrumpe el paso por dentro del cable. El catálogo indica TECHNO:

- reducción del 90% en las infiltraciones de agua;
- garantía de continuidad eléctrica;
- aislamiento sin caída de tensión;
- producto listo para el uso y la instalación.

Las versiones xDRY® se identifican en el código por THB.xxx.Rxx, THB.Dxxx.xxx o THB.xxx.xxx.XD.

## Cuándo especificar protección anticondensación

| SEÑAL | INDICACIÓN |
|---|---|
| **Ciclo térmico diario combinado con humedad alta** | Fuerte |
| **Electrónica sensible conectada al conector, como sondas y transmisores** | Fuerte |
| **Luminarias exteriores que se calientan encendidas y se enfrían de noche** | Fuerte |
| **Historial de agua interna sin defecto de sellado aparente** | Decisivo |

**CONSEJO PRÁCTICO**

Cuando encuentre agua dentro de un conector, fotografíe antes de limpiar. Agua limpia en gotas sobre las paredes sugiere condensación. Agua sucia con un rastro desde una junta sugiere infiltración. Humedad concentrada en la punta de los conductores sugiere capilaridad.




Principio de la barrera anticondensación. Ilustración esquemática, basada en la presentación técnica de Techno.

CAPÍTULO 11

# Errores comunes de especificación e instalación

## En la especificación

| ERROR | CONSECUENCIA | CÓMO EVITARLO |
|---|---|---|
| **Especificar por la condición media del ambiente** | Falla el día de lavado o de lluvia fuerte | Describir la peor condición real |
| **Leer IP68 como "a prueba de todo"** | Falla bajo chorro de alta presión | Exigir un marcado combinado adecuado |
| **Ignorar el IK** | Envolvente agrietada, IP perdido | Especificar IP e IK juntos |
| **Elegir el conector antes que el cable** | Diámetro fuera del rango de sellado | Armonizar cable y conector |
| **Usar empalme donde hay cambio frecuente** | Tiempo de reparación alto, riesgo de inversión | Usar macho y hembra |
| **Confundir la temperatura del material con el T-marking** | Operación por encima de la calificación | Verificar el T-marking de la serie |
| **No contar las interrupciones del circuito** | Confiabilidad en serie baja | Aplicar la etapa 3 del método |

## En la instalación

| ERROR | CONSECUENCIA | CÓMO EVITARLO |
|---|---|---|
| **Pelar demasiada cubierta** | El prensacables aprieta sobre los conductores, no sobre la cubierta | Seguir la longitud de pelado de las instrucciones |
| **Apriete insuficiente o excesivo** | Sello sin compresión o goma dañada | Seguir el par o el tope indicado |
| **Conector a medio encajar** | Micromovimiento, calentamiento, entrada de agua | Verificar la respuesta táctil y visual de la traba |
| **Hembra dejada sin macho o sin tapa** | Pérdida del grado de protección | Usar la tapa de protección |
| **Cable tensionado o con curva forzada en la salida** | Esfuerzo sobre el sello | Prever alivio de tensión y radio de curvatura |
| **Completar el sellado con cinta o masilla** | Capas que ocultan el defecto e impiden la inspección | Usar la conexión diseñada para el ambiente |

**ERROR COMÚN**

"Reforzar" un empalme con cinta autofusionante, masilla y más cinta. Cada capa agrega tiempo de instalación y ninguna garantía. En la próxima falla, nadie logra abrir para inspeccionar.

**PARA PROFUNDIZAR**

- Como escolher conectores elétricos industriais: checklist
- IP66, IP68, IP69K e IK: como interpretar
- Condensação e infiltração de água em conexões



PARTE

III

# Confiabilidad y mantenimiento


12 Conexiones y TPM

13 Inspección y mantenimiento planificado

14 Señales de degradación y diagnóstico

15 Confiabilidad, disponibilidad y paradas no planificadas

CAPÍTULO 12

# Conexiones y TPM

El Mantenimiento Productivo Total, sistematizado por Seiichi Nakajima en el Japan Institute of Plant Maintenance, busca eliminar las pérdidas del equipo con la participación de operación y mantenimiento LITERATURA. Exige que todo componente capaz de generar pérdidas tenga un estándar de normalidad, con responsable, frecuencia y acción ante un desvío.

Las conexiones eléctricas suelen quedar fuera de ese estándar. Después de la limpieza inicial del mantenimiento autónomo, casi nadie define cómo es una conexión en buen estado.

## La conexión en las seis grandes pérdidas

| PÉRDIDA LITERATURA | CÓMO CONTRIBUYE LA CONEXIÓN |
|---|---|
| **Averías** | Infiltración, contacto oxidado, cable roto en el empalme |
| **Setup y ajustes** | Cambiar un motor o sensor exige soltar bornes dentro de cajas |
| **Microparadas** | Falso contacto o humedad en el conector de un sensor |
| **Velocidad reducida** | Operación por debajo del ritmo por temor a una falla eléctrica conocida |
| **Defectos y retrabajo** | Lectura inestable de sensor o balanza |
| **Pérdidas de arranque** | Condensación acumulada durante la parada |

## El estándar de inspección del operador

El mantenimiento autónomo inspecciona por fuera, sin abrir y sin medir. El estándar cabe en una tarjeta.

| ÍTEM | CONDICIÓN NORMAL | SI ESTÁ FUERA DEL ESTÁNDAR |
|---|---|---|
| **Acople y traba** | Totalmente encajado, traba cerrada | Etiquetar y avisar a mantenimiento |
| **Cable y prensacables** | Sin holgura, grietas, aplastamiento o dobleces forzados | Etiquetar y avisar a mantenimiento |
| **Cuerpo del conector** | Sin grietas, deformación o marcas de calor | Etiquetar y avisar a mantenimiento |
| **Humedad y suciedad** | Sin agua, producto acumulado u oxidación visible | Limpiar por fuera y etiquetar si hay oxidación |
| **Identificación** | Etiqueta legible con el código del punto | Rehacer la identificación |

**ATENCIÓN**

Abrir conectores, medir aislamiento y reemplazar componentes son tareas de mantenimiento, con el circuito desenergizado y los procedimientos de bloqueo y etiquetado (LOTO) de la planta.

## La prevención del mantenimiento empieza en el proyecto

El mejor momento para reducir el mantenimiento de una conexión es antes de que exista. Tres decisiones de proyecto ayudan:

- llevar la conexión fuera de la caja, con conector de panel, para que pueda verse e inspeccionarse;
- elegir conexiones reinspeccionables, sin resina ni gel;
- usar macho y hembra donde hay cambio periódico.

CAPÍTULO 13

# Inspección y mantenimiento planificado

## 1. Clasificar por criticidad

No todas las conexiones merecen el mismo esfuerzo. Empiece por:

- circuitos de seguridad, como interruptores de enclavamiento y pulsadores de emergencia;
- accionamientos principales de la línea;
- instrumentos que controlan calidad o proceso;
- puntos de difícil acceso, enterrados o en altura.

## 2. Inspeccionar por condición

| TÉCNICA | DÓNDE APLICAR | QUÉ REVELA |
|---|---|---|
| **Inspección visual en ruta** | Todos los puntos accesibles | Grietas, holgura, oxidación, traba abierta |
| **Resistencia de aislamiento** | Empalmes y derivaciones expuestos a la humedad | Entrada de agua antes de la falla |
| **Termografía** | Conexiones de potencia | Calentamiento por contacto degradado |
| **Reinspección interna** | Empalmes críticos, en paradas programadas | Estado real de contactos y sellos |

La reinspección interna solo es posible en conexiones que pueden abrirse y cerrarse de nuevo. La línea TEETUBE® se describe en el catálogo como libre de resina o gel, reinspeccionable y reaccesible incluso después de largos períodos de operación TECHNO.

## 3. Estandarizar repuestos

Definir pocas familias de conector por función reduce el stock de repuestos, simplifica la capacitación y acorta la reparación.

## 4. Registrar la causa con precisión

"Falla eléctrica" no enseña nada. "Infiltración en el empalme del motor M-12" permite construir un historial. El registro con causa codificada es la base del Pareto que orienta la mejora siguiente.

## 5. Usar las paradas programadas

La parada general es la oportunidad para cambiar conexiones críticas al final de su vida útil y reinspeccionar empalmes de difícil acceso.

> **CONSEJO PRÁCTICO**
>
> Incluya las conexiones en el plan de lubricación e inspección que ya existe, con el mismo código de punto. Crear una ruta aparte solo para conexiones rara vez se sostiene.

CAPÍTULO 14

# Señales de degradación y diagnóstico

## Qué observar

| SEÑAL | CAUSA PROBABLE |
|---|---|
| **Decoloración o marcas de calor en el cuerpo** | Resistencia de contacto elevada |
| **Polvo verdoso o blanco en los contactos** | Corrosión por humedad |
| **Polvo oscuro en los contactos** | Corrosión por fricción, causada por micromovimiento |
| **Goma reseca o agrietada** | Envejecimiento por UV, ozono o calor |
| **Goma que no recupera la forma** | Deformación permanente por compresión |
| **Gotas o empañamiento interno** | Condensación |
| **Rastro de suciedad desde una junta** | Infiltración |
| **Cubierta del cable hinchada o pegajosa** | Ataque químico o hidrólisis |

La corrosión por fricción, conocida como fretting, ocurre cuando la vibración y el ciclo térmico provocan micromovimientos entre las superficies de contacto. La capa de óxido que se forma aumenta la resistencia, el contacto se calienta y el proceso se acelera LITERATURA.

## Ruta de investigación en siete pasos

1. **Registre el patrón de la falla.** Horario, clima, etapa del proceso, lavado reciente.
2. **Abra y fotografíe antes de limpiar.** La posición del agua y de la oxidación es la principal evidencia.
3. **Verifique la instalación.** Diámetro del cable, apriete, traba, juntas.
4. **Siga el cable.** Busque el otro extremo y los empalmes intermedios.
5. **Aplique los 5 porqués.** Vaya más allá de "entró agua".
6. **Elija la acción.** Corregir la instalación, agregar una barrera o ambas cosas.
7. **Mida antes y después.** Sin medición no se puede estandarizar la solución.

**ERROR COMÚN**

Cambiar el conector por otro igual sin investigar la causa. Si el problema es condensación o capilaridad, el conector nuevo fallará de la misma forma, en el mismo plazo.



**VISIÓN DEL INGENIERO**

En el TPM, todo componente que puede generar pérdidas necesita un estándar de normalidad. La conexión casi nunca lo tiene. Si la misma conexión ya falló dos veces, el tercer cambio es un desperdicio: el caso pide análisis de causa raíz.

**Prof. Vagner Soares, Manufatura Enxuta**

CAPÍTULO 15

# Confiabilidad, disponibilidad y paradas no planificadas

## Confiabilidad en serie

Cuando varios elementos tienen que funcionar para que el sistema funcione, la confiabilidad del sistema es el producto de las confiabilidades individuales LITERATURA:

> **R sistema = R1 × R2 × … × Rn**

| CONEXIONES EN SERIE | CONFIABILIDAD DE CADA UNA | CONFIABILIDAD DEL CIRCUITO | PROBABILIDAD DE AL MENOS UNA FALLA |
|---|---|---|---|
| **10** | 99% | 90% | 10% |
| **20** | 99% | 82% | 18% |
| **20** | 96% | 44% | 56% |
| **12** | 99% | 89% | 11% |

Valores ilustrativos, calculados con la fórmula anterior EJEMPLO DIDÁCTICO.

La tabla muestra las dos palancas disponibles. Pasar del 96% al 99% en cada punto baja la probabilidad de falla del 56% al 18%. Reducir de 20 a 12 interrupciones, del 18% al 11%.

## Indicadores

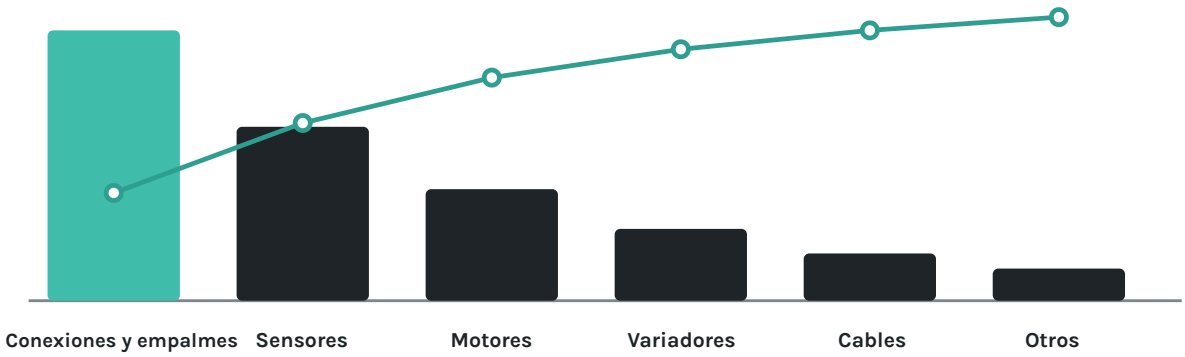
| INDICADOR | DEFINICIÓN | RELACIÓN CON LA CONEXIÓN |
|---|---|---|
| **MTBF** | Tiempo medio entre fallas | Sube con un producto adecuado al ambiente |
| **MTTR** | Tiempo medio de reparación | Baja con macho y hembra y acceso fácil |
| **Disponibilidad** | MTBF dividido por la suma de MTBF y MTTR | Resultado combinado de ambos |

## Cinco acciones para reducir paradas no planificadas

1. **Reúna los datos.** ¿Cuántas órdenes correctivas del último año se originaron en una conexión, empalme o entrada de cable?
2. **Aplique Pareto.** Pocos puntos suelen concentrar la mayoría de los eventos.
3. **Trate la causa.** Use la ruta del capítulo 14.
4. **Haga un piloto.** Una máquina, un cambio, medición antes y después.
5. **Estandarice lo que funcionó.** En la especificación de compra y en el estándar de mantenimiento.

**CONSEJO PRÁCTICO**

No es necesario cambiar todas las conexiones de la planta. Empiece por la máquina con más fallas eléctricas registradas.




Pareto de paradas eléctricas por causa, con curva acumulada. Valores ilustrativos, sin datos de clientes.

**PARA PROFUNDIZAR**

- Conexões industriais e TPM
- RCFA
- 5 porqués
- MTBF e MTTR



PARTE

# IV

# Lean Manufacturing y competitividad


16 Los desperdicios empiezan en la elección del componente

17 Conexiones y OEE

18 Costo total de propiedad

19 El costo invisible de las fallas eléctricas

CAPÍTULO 16

# Los desperdicios empiezan en la elección del componente

En el pensamiento Lean, desperdicio es toda actividad que consume recursos sin generar valor para el cliente LITERATURA. Especificar un componente es una decisión de proceso: define cuánto trabajo de instalación, inspección y reparación habrá en toda la vida del equipo.

Un conector mal elegido no aparece en el mapa de flujo de valor como causa. Aparece después, como parada, desecho o retrabajo.

| DESPERDICIO LITERATURA | CÓMO APARECE EN LA CONEXIÓN | DECISIÓN QUE LO PREVIENE |
|---|---|---|
| **Defectos** | Lectura inestable de sensor o balanza por humedad | Grado de protección y anticondensación adecuados |
| **Espera** | Línea detenida esperando diagnóstico o repuesto | Conexión reinspeccionable y repuesto estandarizado |
| **Movimiento** | Técnico abriendo cajas y rehaciendo bornes en campo | Macho y hembra o versión precableada |
| **Sobreprocesamiento** | Empalme con capas de cinta, masilla o resina | Empalme diseñado para el ambiente |
| **Inventario** | Decenas de modelos para la misma función | Estandarización por función y ambiente |
| **Talento no aprovechado** | Técnico calificado corrigiendo una conexión mal hecha | Instalación simple, menos dependiente de la habilidad |

La relación entre cada desperdicio y la conexión es una lectura de ingeniería, no una medición. Sirve para orientar dónde buscar.

## Poka-yoke: el error impedido por el componente

El poka-yoke es el dispositivo que impide el error en lugar de detectarlo después LITERATURA. Algunas características de diseño de la conexión cumplen ese papel:

- **Sellado co-moldeado:** no hay un anillo suelto que olvidar.
- **Llaves mecánicas y colores:** el catálogo de Techno describe versiones distintas para circuitos de energía y de señal, que impiden el acople cambiado TECHNO.
- **Traba con respuesta táctil y visual:** hace evidente cuándo el acople está completo.
- **Sistema de resorte:** elimina la variación del par de apriete entre instaladores.

## Calidad en la fuente

En las versiones precableadas, el montaje y la prueba salen del campo y pasan a la fábrica, en condición controlada. A la obra llega una pieza única, ya probada.

## Estandarizar sin rigidizar

1. Liste las funciones de conexión de la planta.
2. Elija una familia de referencia por función y por ambiente.
3. Registre las excepciones con el motivo.
4. Revise el estándar cuando cambie el ambiente o el historial de fallas.

## Un kaizen en una máquina

1. Elija la máquina con más fallas eléctricas.
2. Mapee todas sus conexiones.
3. Clasifique los desperdicios con la tabla de este capítulo.
4. Pruebe un cambio.
5. Estandarice si hay una ganancia medida.

CAPÍTULO 17

# Conexiones y OEE

El OEE, índice de eficiencia global del equipo, es el producto de tres factores LITERATURA:

> **OEE = Disponibilidad × Rendimiento × Calidad**

| FACTOR | PÉRDIDA ASOCIADA | EFECTO DE UNA CONEXIÓN INADECUADA |
|---|---|---|
| **Disponibilidad** | Averías, setup y ajustes | Parada por falla eléctrica, cambio lento de componentes |
| **Rendimiento** | Microparadas, velocidad reducida | Microparadas por falso contacto, operación a ritmo cauteloso |
| **Calidad** | Defectos, pérdidas de arranque | Desecho por lectura inestable, inestabilidad después de paradas |

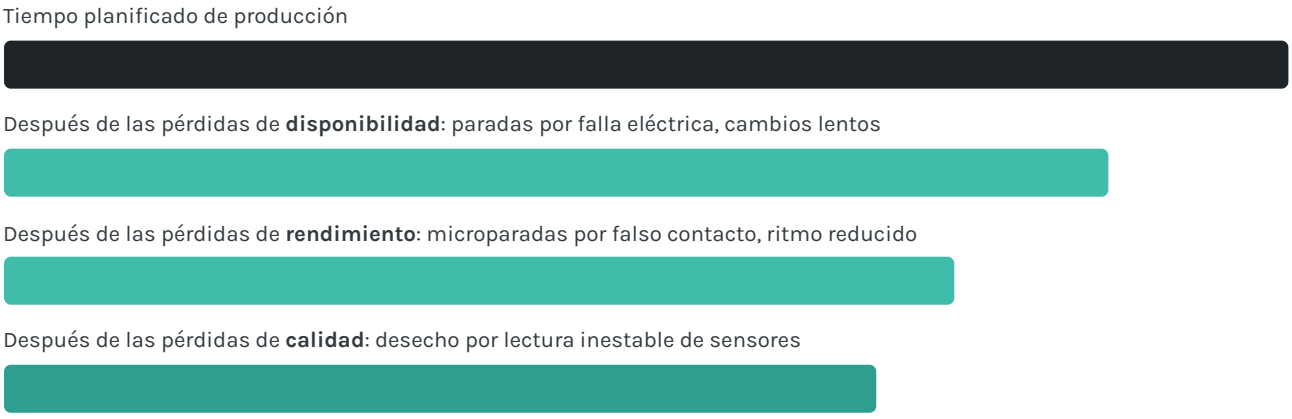
## Por qué la microparada pesa tanto

Una parada de tres horas entra en el informe. Seis paradas de veinte minutos, repartidas en el mes, muchas veces no entran. La falla intermitente de conexión produce justamente ese patrón: la máquina se detiene, el operador mueve el cable, vuelve a arrancar.

> **EJEMPLO DIDÁCTICO**
>
> Una línea con un costo de R$ 8.000 por hora parada sufre 6 paradas de 25 minutos en el mes por falla intermitente. Son 2,5 horas, o R$ 20.000 en el mes, sin que ninguna parada aislada haya llamado la atención. Valores hipotéticos, en reales brasileños.

## Del indicador a la causa

El OEE muestra que hay una pérdida. No muestra la causa. Para llegar a la conexión, el registro de parada necesita un código de causa específico, como "conexión, empalme o entrada de cable", separado del genérico "eléctrica".




Cascada del OEE. Las proporciones son ilustrativas.

CAPÍTULO 18

# Costo total de propiedad

El costo total de propiedad, o TCO, reúne todo lo que un ítem cuesta a lo largo de su vida. La norma IEC 60300-3-3 trata el tema con el nombre de costeo del ciclo de vida NORMA.

## Las partidas

| PARTIDA | QUÉ CONSIDERAR | CARACTERÍSTICA TÉCNICA QUE PESA |
|---|---|---|
| **Adquisición** | Conector, prensacables, accesorios | Material, grado de protección, número de polos |
| **Instalación** | Horas de técnico, herramientas, retrabajo | Número de piezas, sellado co-moldeado, precableado |
| **Inspección y mantenimiento** | Tiempo para inspeccionar, desconectar y reconectar | Conexión reinspeccionable, macho y hembra |
| **Fallas** | Probabilidad de falla multiplicada por el costo de cada falla | Adecuación al ambiente |
| **Reemplazo** | Cambio al final de la vida útil y repuestos | Resistencia al envejecimiento |

> **TCO = adquisición + instalación + mantenimiento en el período + (fallas esperadas × costo por falla)**

> **Costo por falla = horas paradas × costo de la hora de la línea + mano de obra + materiales + desecho**

## Ejemplo resuelto

El ejemplo siguiente usa valores hipotéticos, en reales, adaptados de la serie de artículos del portal Manufatura Enxuta EJEMPLO DIDÁCTICO.

**Supuestos:** horizonte de 5 años. Cada falla causa 1 hora de parada a R$ 8.000, más R$ 1.000 de reparación. Técnico a R$ 80 por hora.

| ÍTEM, POR PUNTO DE CONEXIÓN | OPCIÓN A, CONVENCIONAL | OPCIÓN B, ROBUSTA |
|---|---|---|
| **Adquisición** | R$ 40 | R$ 180 |
| **Instalación** | 1,5 h = R$ 120 | 0,5 h = R$ 40 |
| **Subtotal inicial** | R$ 160 | R$ 220 |
| **Probabilidad de falla por año** | 4% | 1% |
| **Fallas esperadas en 5 años** | 0,20 | 0,05 |
| **Costo esperado de fallas** | R$ 1.800 | R$ 450 |
| **TCO en 5 años** | **R$ 1.960** | **R$ 670** |

La opción B cuesta R$ 60 más al inicio y R$ 1.290 menos en el período.

**Punto de equilibrio:** R$ 60 divididos entre R$ 9.000 dan 0,0067 fallas por punto. Basta evitar una falla cada 150 puntos instalados para que la opción B se pague.

**A escala:** en una línea con 120 puntos, la diferencia suma R$ 154.800 en cinco años, con 18 paradas esperadas menos.

> **ATENCIÓN**
>
> Las probabilidades de falla de este ejemplo son hipotéticas. En un análisis real deben venir del historial de la planta. La comparación solo vale entre opciones que cumplan los mismos requisitos técnicos.

## Ruta para compras y dirección

1. Reúna las fallas del último año por causa y componente.
2. Calcule el costo por falla con el costo de la hora de la línea.
3. Arme el TCO de las opciones y el punto de equilibrio.
4. Proponga un piloto, con MTBF y MTTR medidos antes y después.
5. Mida también el tiempo de instalación.
6. Estandarice lo que el piloto confirme.

**Opción A · convencional**




TCO en 5 años: **R$ 1.960** (inicial R$ 160)

**Opción B · robusta**




TCO en 5 años: **R$ 670** (inicial R$ 220)

En oscuro, adquisición e instalación. En color, el costo esperado de fallas. Valores hipotéticos.

CAPÍTULO 19

# El costo invisible de las fallas eléctricas

La planilla de TCO captura lo que se puede medir. Parte del costo queda fuera de ella.

**Diagnóstico de la falla intermitente.** Antes de llegar a la conexión, el técnico prueba el sensor, cambia la tarjeta del PLC y mide el cable. Se reemplazan piezas buenas.

**Stock de repuestos.** Muchas familias de conector para la misma función ocupan almacén y capital.

**Acceso difícil.** Cajas enterradas, puntos en altura y espacios confinados exigen equipo, permiso de trabajo y más personal.

**Seguridad.** Un interruptor de enclavamiento o un pulsador de emergencia que falla deja de proteger. Ese costo no se mide en dinero por hora.

**Confianza.** La línea que se detiene sin explicación pasa a operarse con cautela, por debajo de la velocidad nominal.

## Dónde la decisión cuesta menos

Una regla práctica conocida como 1-10-100 resume la idea: corregir un problema en el proyecto cuesta una unidad, en la instalación cuesta diez, en operación cuesta cien. Los números son orden de magnitud, no medición. La lógica, sin embargo, se confirma en el día a día: cuanto más tarde la corrección, más cara.

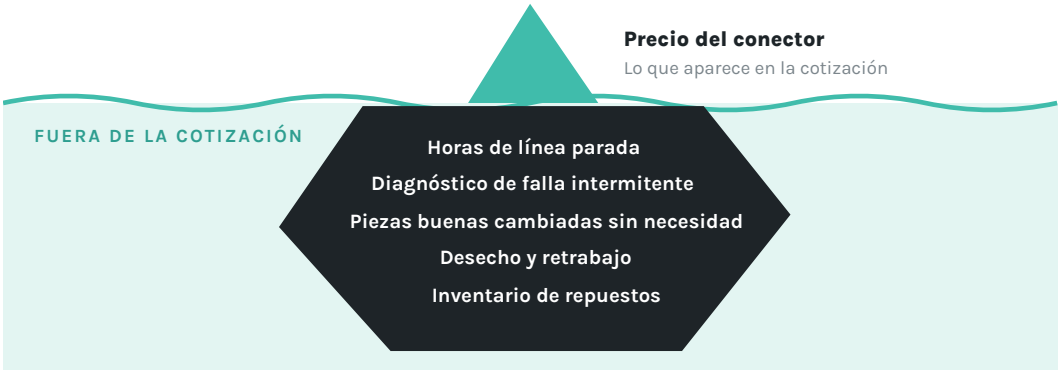
> **PARA LA REUNIÓN DE PRESUPUESTO**
>
> El costo de una conexión es una decisión. El costo de una falla es un evento. Comparar los dos en la misma tabla suele cerrar la discusión sobre el precio unitario.



**VISIÓN DEL INGENIERO**

No hace falta cambiar todas las conexiones de la planta para demostrarlo. Se empieza por datos, foco y estándar: reunir las fallas, elegir una máquina, medir antes y después. Un piloto bien medido convence más que cualquier catálogo.

**Prof. Vagner Soares, Manufatura Enxuta**




**PARA PROFUNDIZAR**

- Lean: os desperdícios começam na escolha do componente
- Custo total das conexões industriais (TCO)
- OEE, con calculadora
- Costo de la hora-máquina



PARTE

# V

# Aplicaciones y casos


20 Aplicaciones en ambientes hostiles

21 Estudios de caso

22 Lecciones aprendidas

CAPÍTULO 20

# Aplicaciones en ambientes hostiles

La presentación técnica "Aplicaciones complicadas y hostiles", dictada por Mario Adinolfi, Director de Techno do Brasil, reúne aplicaciones en campo con los productos de la marca TECHNO. La tabla resume las principales.

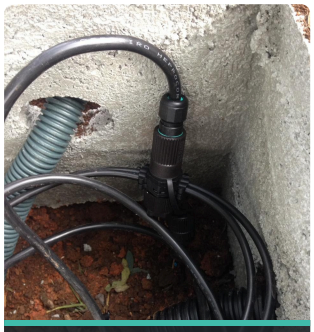
| APLICACIÓN | AMBIENTE | PRODUCTO INDICADO EN LA PRESENTACIÓN |
|---|---|---|
| **Iluminación de cancha de fútbol** | Cajas subterráneas que se inundan | THB.402 |
| **Alumbrado público subterráneo** | Red enterrada | THB.370 |
| **Iluminación exterior y empotrada en piso** | Agua y carga mecánica | THB.391.A4A |
| **Iluminación industrial exterior** | Ciclo térmico y humedad | THB.391.R4A.L, versión xDRY® |
| **Telemetría en saneamiento** | Ductos de agua y alcantarillado | Caja 210, conectores 381 y 387 |
| **Sonda de pureza del agua** | Inmersión y gradiente térmico | THB.387.N4A, versión xDRY® |
| **Mesa plana en papel y celulosa** | Humedad y calor | THB.391.A4A |
| **Máquina de pastas** | 85 °C continuos y 90% de humedad | THB.387.A4A |
| **Equipo en planta cárnica** | Lavado | THB.405.S5A |
| **Balanzas de 2 y 4 celdas** | Humedad | Mini conectores THB.389 y derivación THH.629 |
| **Motores en industria arrocera** | Polvo | Familia THB.387 |
| **Motores de herramientas** | Montaje de fábrica | Familia THB.387, 4 polos |
| **Instrumentación de campo** | Transmisores expuestos | THB.381 |
| **Sensor de pH** | Sonda reemplazable | THB.400 con THB.381.A2A y THB.381.B2A |
| **Interruptor de enclavamiento** | Circuito de seguridad | THB.405.A8A con THB.405.B8A |
| **Tableros de máquinas** | Varios cables por tablero | Conectores circulares de 3, 8 y 12 vías |

**NOTA DE TRANSPARENCIA**

La presentación registra producto y ambiente de cada aplicación. Solo dos tienen seguimiento a lo largo del tiempo: la cancha de fútbol, inspeccionada después de 4 años, y la máquina de pastas, inspeccionada después de 8 meses. Para las demás, esta guía no atribuye resultados.



Alumbrado público



Caja de registro



Telemetría



Iluminación deportiva

Fotos de aplicaciones reales. Fuente: presentación técnica Techno.

CAPÍTULO 21

# Estudios de caso

Los cuatro primeros casos se basan en registros de Techno. Los dos últimos son hipotéticos y están identificados como tales.

## Caso 1. Iluminación deportiva con empalmes sumergidos

**Origen:** registro real TECHNO.

1. **Contexto operativo.** Iluminación de una cancha de fútbol en Mogi das Cruzes, SP (Brasil). Los empalmes están en cajas de registro enterradas.
2. **Problema identificado.** Las cajas se llenan de agua en épocas de lluvia, y los empalmes quedan sumergidos.
3. **Causas técnicas.** Inmersión prolongada y repetida, condición más severa que salpicadura o chorro.
4. **Consecuencias para la operación.** En instalaciones de este tipo, la entrada de agua lleva a fuga de corriente, disparo de protecciones y pérdida de la iluminación.
5. **Criterios de la solución.** Derivación con grado IP68, sin resina ni gel, para permitir la inspección futura.
6. **Solución aplicada.** Derivación en T modelo THB.402. El catálogo indica para la serie TH402 grado IP68, IK07, hasta 6 polos y 32 A / 450 V.
7. **Resultado documentado.** Cuatro años después de la instalación, el propio instalador abrió el conector y relató, en una publicación en red social reproducida en la presentación, no haber encontrado ningún rastro de agua.
8. **Aprendizajes.** El relato es único y sin medición de laboratorio. Ilustra dos cosas: el valor de especificar para la inmersión real y el valor de una conexión que puede abrirse para verificación.



Día de la instalación



Cuatro años después



Conector abierto: seco por dentro

Fuente: presentación técnica Techno.

## Caso 2. Motor en máquina de pastas

**Origen:** registro real TECHNO.

1. **Contexto operativo.** Máquina de producción de pastas en industria de alimentos.
2. **Problema identificado.** El punto de conexión del motor trabaja, según la presentación, a 85 °C continuos y 90% de humedad.
3. **Causas técnicas.** El calor continuo acelera el envejecimiento de los sellos. La humedad alta favorece la oxidación y la condensación en las paradas.
4. **Consecuencias para la operación.** En esas condiciones, la degradación de la conexión del motor termina en parada del equipo.
5. **Criterios de la solución.** Conector desconectable, con traba por rotación y materiales calificados para la temperatura.
6. **Solución aplicada.** Conector THB.387.A4A.
7. **Resultado documentado.** La presentación muestra fotos del día de la instalación y de una inspección realizada 8 meses después. No hay medición publicada.
8. **Aprendizajes.** Con calor y humedad combinados, conviene programar una inspección en los primeros meses para confirmar la especificación antes de estandarizarla.

> **PUNTO A VALIDAR ANTES DE LA PUBLICACIÓN**
>
> El T-marking indicado en el catálogo para la serie TH387 es de +60 °C, y el rango del material es de –40 °C a +125 °C. Como la aplicación se describe a 85 °C continuos, se recomienda confirmar con la ingeniería de Techno la redacción técnica de este caso.

## Caso 3. Telemetría en saneamiento

**Origen:** registro real TECHNO.

1. **Contexto operativo.** Sistema de telemetría de ductos de agua y alcantarillado.
2. **Problema identificado.** La placa electrónica y las conexiones de los sensores están en un ambiente húmedo y sujeto a inundación.
3. **Causas técnicas.** La electrónica es sensible a la humedad y a los contaminantes. Cada sensor agrega una entrada de cable.
4. **Consecuencias para la operación.** Pérdida de datos de monitoreo y traslado de cuadrillas a campo.
5. **Criterios de la solución.** Protección IP68 para la placa y conexión desconectable para los sensores.
6. **Solución aplicada.** Caja 210, que según la presentación garantiza la protección IP68 de la placa y la conexión segura con los conectores de las series 381 y 387. En una aplicación relacionada, una sonda de control de pureza del agua usa el conector THB.387.N4A en la versión xDRY®.
7. **Resultado documentado.** No hay resultado publicado.
8. **Aprendizajes.** Cuando hay electrónica en el punto, la especificación debe considerar envolvente, entradas de cable y barrera anticondensación como un conjunto.

## Caso 4. Tableros de máquinas con conectores circulares

**Origen:** registro real TECHNO.

1. **Contexto operativo.** Tableros de máquinas con varios cables de potencia y señal.
2. **Problema identificado.** Reemplazo de conectores rectangulares multipolares.
3. **Causas técnicas.** Un conector único para varios cables concentra funciones distintas en el mismo punto de sellado.
4. **Consecuencias para la operación.** Una falla en el conector compartido afecta a todos los circuitos que pasan por él.
5. **Criterios de la solución.** Un conector circular por cable, dimensionado según el número de vías.
6. **Solución aplicada.**

| CABLE | CONECTORES |
|---|---|
| **12 vías** | THB.406.A1E con THB.405.B2E |
| **8 vías** | THB.405.A8A y THB.405.B8A con accesorio 6000087LF |
| **3 vías** | THB.381.A3E y THB.381.B3E |
| **3 vías** | THB.384.A1A y THB.384.B1A con accesorio 6000347LA |

7. **Resultado documentado.** No hay resultado publicado.
8. **Aprendizajes.** Separar los circuitos por conector facilita el diagnóstico y el cambio de un cable sin tocar los demás.

## Caso 5. Luminarias exteriores con agua interna

**Origen:** ejemplo hipotético, elaborado con fines didácticos.

1. **Contexto operativo.** Patio de una planta con 40 luminarias LED en postes. Los drivers están en cajas en lo alto de los postes.
2. **Problema identificado.** Después del primer invierno, parte de las luminarias empieza a parpadear o a disparar protecciones. Las cajas abiertas muestran gotas de agua, aunque los sellos estén intactos.
3. **Causas técnicas.** Las luminarias se calientan encendidas de noche y se enfrían de madrugada. En cada ciclo, el conjunto aspira aire húmedo por dentro del cable de alimentación. Es condensación sumada a capilaridad, no infiltración.
4. **Consecuencias para la operación.** Área mal iluminada, cambio repetido de drivers y trabajo en altura en cada intervención.
5. **Criterios de la solución.** Barrera entre el cable y el equipo, conexión desconectable para cambiar sin rehacer conexiones, resistencia a UV.
6. **Solución recomendada.** Conector con barrera anticondensación en la entrada de cada luminaria, y revisión del diámetro de los cables frente al rango de los prensacables.
7. **Resultado.** No aplica, por tratarse de un ejemplo hipotético.
8. **Aprendizajes.** Sello intacto con agua por dentro indica condensación. Cambiar el conector por otro igual repite la falla.

## Caso 6. Sensores en una línea lavada a diario

**Origen:** ejemplo hipotético, elaborado con fines didácticos.

1. **Contexto operativo.** Línea de envasado de alimentos con 60 sensores, higienizada todos los días con chorro de agua caliente y detergente alcalino.
2. **Problema identificado.** Microparadas frecuentes por lectura falsa de sensor, concentradas en las primeras horas después del lavado.
3. **Causas técnicas.** Los conectores originales son IP67, adecuados para inmersión temporal y no para chorro de alta presión y temperatura. El choque térmico del lavado agrava la entrada de agua.
4. **Consecuencias para la operación.** Pérdida de rendimiento en el OEE y desecho de arranque.
5. **Criterios de la solución.** Marcado que incluya IP69, materiales compatibles con el detergente en uso, macho y hembra para el cambio rápido del sensor.
6. **Solución recomendada.** Reemplazo piloto en diez puntos, con registro de microparadas antes y después, y estandarización solo después de confirmar la ganancia.
7. **Resultado.** No aplica, por tratarse de un ejemplo hipotético.
8. **Aprendizajes.** El grado de protección debe corresponder al tipo de ataque. Inmersión y chorro son exigencias distintas.

CAPÍTULO 22

# Lecciones aprendidas

Los casos y las aplicaciones apuntan a las mismas recomendaciones.

1. **Especifique para el peor día.** La cancha inundada y la línea lavada muestran que la condición extrema, aunque ocasional, define la especificación.
2. **Diferencie infiltración, condensación y capilaridad.** Cada mecanismo tiene una solución.
3. **Prefiera conexiones que puedan abrirse.** Sin inspección no hay aprendizaje.
4. **Use macho y hembra donde hay cambio.** Motores, sensores y sondas salen para mantenimiento.
5. **Trate el punto con electrónica como un conjunto.** Caja, entradas y barrera trabajan juntas.
6. **Mida antes de estandarizar.** Un piloto con datos vale más que un cambio general por convicción.
7. **Registre con fotos y fechas.** Los dos casos con seguimiento existen solo porque alguien fotografió la instalación y volvió después.

**CONSEJO PRÁCTICO**

Adopte el hábito del "día de la instalación": una foto de cada conexión crítica, con fecha y código del punto. En la próxima inspección, la comparación es inmediata.



**VISIÓN DEL INGENIERO**

De los casos reunidos aquí, solo dos tienen seguimiento a lo largo del tiempo, y los dos existen porque alguien fotografió y volvió después. Es el tipo de evidencia que falta en la industria. Quien instala hoy debería agendar la foto de dentro de un año.

**Prof. Vagner Soares, Manufatura Enxuta**

**PARA PROFUNDIZAR**

- Cases de conexões elétricas em ambientes hostis
- Relato del instalador de la cancha de fútbol: instagram.com/p/C-Gn03dRojN

PARTE

# VI

# Tecnología y soluciones


23 La tecnología de Techno

24 Familias de producto y datos técnicos

25 Cómo evaluar soluciones

26 Checklist profesional de especificación

CAPÍTULO 23

# La tecnología de Techno

Techno comenzó como fabricante de artículos técnicos de plástico y se especializó en conexiones eléctricas de alta protección contra agua y polvo. En 2026, la empresa cumplió 40 años de actividad en inyección de plástico. El diseño y la producción se realizan en Italia, con certificación "Made in Italy" en los términos de la legislación italiana citada en el catálogo TECHNO.

## Cuatro pilares técnicos

**1. Sellado co-moldeado.** Plástico y goma inyectados en una sola pieza, con menos componentes y menos errores de instalación.

**2. Conexión libre de resina y gel.** El sellado es mecánico, y la conexión puede reabrirse e inspeccionarse. El sello "Resin-gel free" identifica esa característica en el catálogo.

**3. xDRY®.** Barrera anticondensación patentada, que bloquea la migración de humedad por dentro del cable.

**4. Materiales calificados para durar.** PA66 con fibra de vidrio, gomas resistentes a UV y al envejecimiento, con los ensayos descritos en el capítulo 9.

## Plataforma IoTH®

La plataforma IoTH® organiza la integración de electrónica y sensores en las conexiones en cuatro niveles TECHNO:

| NIVEL | TIPO | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| 1 | Pasivo | Conector y caja de derivación de catálogo |
| 2 | Pasivo | Componentes Techno o de mercado preinstalados |
| 3 | Activo | Componentes electrónicos e IoT integrados en los conectores |
| 4 | Activo personalizado | Adaptación de productos para proyectos especiales |

La presentación técnica indica además el desarrollo de productos orientados al estándar Zhaga, para iluminación e IoT, con protección de IP66 a IP68 y aplicación hasta 400 VCA y 60 VCC TECHNO.

## Soluciones a medida

El Techno Innovation Lab reúne investigación, desarrollo, producción y calidad para proyectos personalizados. El catálogo describe el recorrido completo: elección de la materia prima, diseño de producto, modelado en CAD/CAM, impresión 3D para pieza única o lotes pequeños, verificación en laboratorio y producción en serie. Los ensayos internos citados incluyen resistencia a polvo y agua (IP), envejecimiento acelerado, calentamiento, ensayo eléctrico y ensayo mecánico (IK) TECHNO.

CAPÍTULO 24

# Familias de producto y datos técnicos

Los datos siguientes se extrajeron del catálogo general y deben confirmarse en la ficha de cada código antes de la especificación TECHNO.

## TEETUBE®: empalmes y derivaciones

| SERIE | CONFIGURACIÓN | DESTACADOS DEL CATÁLOGO |
|---|---|---|
| **TH391** | Lineal, tornillo | Extra compacto, 2 a 5 polos, IP68 e IP69, versión xDRY® |
| **TH393** | Lineal, resorte | Instalación sin herramienta, IP66 e IP68, versión xDRY® |
| **TH400** | Lineal y derivación | Hasta 41 A y 690 V, hasta 6 polos, cable de hasta 21 mm, IP68. Versión UP con IK10 |
| **TH390** | Derivación en T | 3 vías, IP68, IK07 |
| **TH402** | Derivación en T | 3 vías, hasta 6 polos, 32 A y 450 V, IP68, IK07 |
| **TH399** | Derivación en Y | 3 vías, cables de hasta 4 mm², IP68, IK07 |
| **TH392** | Derivación en H | 4 vías, montaje rápido, versión xDRY® |
| **TH394** | Tablero | Cierre a presión, IP66, IP67 e IP68, IK08 |

Norma de referencia indicada en el catálogo para las derivaciones: EN 60998-1.

## TEEPLUG®: macho y hembra

| SERIE | TRABA | CICLOS | DESTACADOS DEL CATÁLOGO |
|---|---|---|---|
| **TH381** | Push-pull | 100 | Mini conector de 14 mm, IP66, IP68 e IP69 |
| **TH387** | Rotación | 1.000 | 2 a 5 polos, IP66 e IP68, IK07, versión xDRY® |
| **TH389** | Push-pull | 100 | IP66, IP68 e IP69, versión UP hasta 630 V |
| **TH384** | Rotación | 1.000 | 2, 3 y 5 polos, IP66 e IP68, IK07 |
| **TH405** | Bayoneta | 1.000 | 2 a 8 polos, cable de hasta 16,5 mm, IK08. Versión estándar con IP66, IP68 e IP69. Versión UP hasta 25 A y 630 V, con IP66 e IP68 |

Norma de referencia indicada en el catálogo: EN 61984. Algunos códigos traen también UL 2238 y CSA C22.2 No. 182.3.

## TEEBOX®: cajas y distribuidores

| SERIE | TIPO | DESTACADOS DEL CATÁLOGO |
|---|---|---|
| **TH200** | Caja de 3 vías | Hasta 5 polos, IP67 |
| **TH211** | Caja de 3 vías | IP65, IK08 |
| **TH209** | Caja híbrida | Accesorios modulares, IP66 e IP68, IK08 |
| **TH219** | Caja vacía de 3 y 4 vías | IP68, IK08 |
| **TH210** | Caja para electrónica | IP66, IP67 e IP68 |
| **TH212** | Mini caja hasta 6 entradas y salidas | IP66 e IP67, IK08 |
| **TH625, TH624, TH623, TH629** | Distribuidores desconectables | IP68, con IP66 declarado en parte de las series |
| **TH631** | Distribuidor precableado | Traba de 1/4 de vuelta, hasta 8 polos, IP65 |

## TEEGLAND®, TEEBLOCK® y TEEDRUM®

| LÍNEA | FUNCIÓN | DATOS DEL CATÁLOGO |
|---|---|---|
| **TEEGLAND®** | Prensacables co-moldeados | Roscas M16, M20, M25, PG9, PG13,5 y PG16, IP68 |
| **TEEBLOCK®** | Bloques de terminales lineales | Hasta 5 polos, 32 A y 450 V |
| **TEEDRUM®** | Bloques de terminales circulares | Hasta 5 polos, 32 A y 450 V |

## Cómo leer el código del producto

| CÓDIGO | SIGNIFICADO |
|---|---|
| **THB.xxx.xxx** | Contacto por tornillo |
| **THS.xxx.xxx** | Contacto por resorte |
| **THP.xxx.xxx** | Contacto perforante |
| **THF.xxx.xxx** | Contacto por encaje |
| **THC.xxx.xxx.xxx** | Producto sobremoldeado |
| **THR.xxx.xxx o THB.xxx.xxx.R** | Kit |
| **IoTH.xxx.xxx** | Plataforma IoTH® |
| **THB.xxx.Rxx, THB.Dxxx.xxx o THB.xxx.xxx.XD** | Tecnología xDRY® |

Los tres dígitos centrales identifican la serie. El bloque final identifica polaridad y configuración.

CAPÍTULO 25

# Cómo evaluar soluciones

Estos criterios sirven para comparar a cualquier proveedor de conexiones, y no solo para evaluar a Techno.

| CRITERIO | PREGUNTA AL PROVEEDOR | POR QUÉ IMPORTA |
|---|---|---|
| **Grado de protección** | ¿En qué condiciones se ensayó el IP68? | El IP68 no tiene un valor único |
| **Marcado combinado** | ¿El producto resiste chorro e inmersión? | Los ensayos son independientes |
| **Impacto** | ¿Cuál es el grado IK de la serie? | El IP depende de la integridad de la envolvente |
| **Temperatura** | ¿Cuál es el T-marking? | Es el límite de operación calificado |
| **Envejecimiento** | ¿Hay ensayo de UV, ozono y niebla salina? | El IP no evalúa el tiempo |
| **Química** | ¿Existe tabla de resistencia química? | Limpieza y proceso atacan los materiales |
| **Montaje** | ¿Cuántas piezas sueltas tiene el conjunto? | Cada pieza es una oportunidad de error |
| **Inspección** | ¿La conexión puede reabrirse? | Sin acceso no hay mantenimiento por condición |
| **Ciclos** | ¿Cuántas conexiones y desconexiones soporta? | Define la vida en puntos de cambio frecuente |
| **Normas** | ¿Qué normas de producto cumple? | Base para una comparación objetiva |
| **Soporte** | ¿Hay apoyo para especificación y personalización? | Los ambientes hostiles se salen del estándar |

## Recomendación por necesidad

| NECESIDAD | CAMINO SUGERIDO |
|---|---|
| **Reparación o extensión de cable en área mojada** | Empalme lineal IP68, reinspeccionable |
| **Alumbrado en secuencia** | Derivaciones en T o H, o distribuidor |
| **Motor o sensor con cambio periódico** | Macho y hembra con traba |
| **Lavado de alta presión** | Serie con marcado que incluya IP69 |
| **Equipo con ciclo térmico y electrónica** | Versión con barrera anticondensación |
| **Entrada de señal en tablero** | Conector de panel, uno por cable |
| **Electrónica en campo** | Caja IP68 con entradas desconectables |
| **Instalación repetitiva en serie** | Versión precableada, probada de fábrica |



**VISIÓN DEL INGENIERO**

Los criterios de este capítulo valen para cualquier proveedor, incluida Techno. Una especificación bien escrita describe el ambiente, el cable y el circuito, y deja que los productos compitan por cumplirla.

**Prof. Vagner Soares, Manufatura Enxuta**

CAPÍTULO 26

# Checklist profesional de especificación

## A. IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

- ☐ Código del punto y del equipo
- ☐ Criticidad: seguridad, accionamiento principal, control de proceso, auxiliar
- ☐ Función: empalme, derivación, macho y hembra, panel, caja, prensacables

## B. AMBIENTE, EN LA PEOR CONDICIÓN REAL

- ☐ Agua: salpicadura, lluvia, chorro, chorro de alta presión, inmersión temporal, inmersión continua
- ☐ Profundidad y duración de la inmersión, si la hay
- ☐ Polvo: tipo e intensidad
- ☐ Productos químicos: nombre, concentración y temperatura
- ☐ Temperatura mínima, máxima y variación diaria
- ☐ Humedad relativa y riesgo de condensación
- ☐ Exposición a sol, ozono y niebla salina
- ☐ Impacto y vibración

## C. DATOS ELÉCTRICOS

- ☐ Corriente y tensión, CA o CC
- ☐ Número de polos de potencia y de señal
- ☐ Sección de los conductores en $mm^2$

## D. CABLE

- ☐ Diámetro exterior medido
- ☐ Material de la cubierta
- ☐ Conductor rígido o flexible
- ☐ Cambio de calibre en el punto

## E. REQUISITOS DEL CONECTOR

- ☐ Grado IP exigido, con marcado combinado si hay chorro e inmersión
- ☐ Grado IK exigido
- ☐ T-marking igual o superior a la temperatura de operación
- ☐ Tipo de contacto: tornillo, resorte, perforante
- ☐ Tipo de traba y número de ciclos
- ☐ Barrera anticondensación
- ☐ Conexión reinspeccionable
- ☐ Restricción de silicona o halógenos
- ☐ Normas de producto exigidas

## F. CIRCUITO

- ☐ Plano del circuito dibujado
- ☐ Interrupciones contadas y clasificadas
- ☐ Interrupciones que pueden eliminarse
- ☐ Posibilidad de versión precableada

## G. MANTENIMIENTO

- ☐ Punto accesible para inspección visual
- ☐ Punto incluido en el plan de inspección
- ☐ Repuesto estandarizado en stock
- ☐ Foto del día de la instalación registrada



PARTE

# VII

# Caja de herramientas de la ingeniería de producción


27 Las herramientas y dónde entra cada una

28 Del problema al estándar: una ruta aplicada

29 Para profundizar: ruta de lectura

CAPÍTULO 27

# Las herramientas y dónde entra cada una

Las partes anteriores trataron del componente. Esta trata del método. Las herramientas siguientes son conocidas en cualquier programa de Lean, TPM o calidad LITERATURA. Lo que cambia es el objeto: en lugar de la máquina o del proceso, el análisis recae sobre el punto de conexión.

Usadas en secuencia, responden a la pregunta que la dirección suele hacer: ¿por qué invertir en una conexión mejor?

## Para ver y entender el problema

| HERRAMIENTA | PREGUNTA QUE RESPONDE | APLICACIÓN A LAS CONEXIONES |
|---|---|---|
| **Gemba** | ¿Qué ocurre realmente en el punto? | Observar la conexión en la peor condición real: lavado, lluvia, arranque en frío |
| **5S** | ¿El punto está limpio, identificado y accesible? | Identificar cada conexión con un código y mantener inspeccionables cajas y canaletas |
| **Pareto** | ¿Dónde está la mayor parte de las fallas? | Estratificar las paradas eléctricas por causa y por punto |
| **5 porqués** | ¿Cuál es la causa detrás de la causa? | Pasar de "entró agua" al proyecto, al cable o al montaje |
| **Ishikawa** | ¿Qué familias de causa están involucradas? | Organizar las hipótesis en método, material, mano de obra, máquina, medición y medio ambiente |
| **RCFA** | ¿Qué revela la pieza que falló? | Abrir, fotografiar y analizar el conector antes de limpiarlo o cambiarlo |
| **FMEA** | ¿Qué puede fallar y con qué gravedad? | Tratar cada interfaz de montaje como un modo de falla posible |

## Para prevenir, medir y consolidar

| HERRAMIENTA | PREGUNTA QUE RESPONDE | APLICACIÓN A LAS CONEXIONES |
|---|---|---|
| **Poka-yoke** | ¿Cómo impedir el error en el origen? | Sellado co-moldeado, traba con respuesta, llaves mecánicas y colores |
| **Trabajo estandarizado** | ¿Todos instalan de la misma manera? | Estándar de pelado, apriete y verificación de la traba |
| **Mantenimiento autónomo** | ¿El operador sabe qué es lo normal? | Tarjeta de inspección visual de las conexiones |
| **MTBF e MTTR** | ¿El cambio funcionó? | Medir el intervalo entre fallas y el tiempo de reparación antes y después |
| **OEE** | ¿Cuánto cuesta la falla en eficiencia? | Código de parada específico para conexión, empalme y entrada de cable |
| **Costo de la hora-máquina** | ¿Cuánto vale una hora de parada? | Base del costo por falla y del cálculo de costo total |
| **Kaizen, PDCA y A3** | ¿Cómo consolidar la mejora? | Piloto en una máquina, verificación y estandarización |



**VISIÓN DEL INGENIERO**

Una herramienta sin datos se vuelve opinión con formulario. Cuando la orden de trabajo registra solo "falla eléctrica", la causa se pierde. La primera ganancia rara vez viene del conector nuevo: viene de empezar a registrar la conexión como causa.

**Prof. Vagner Soares, Manufatura Enxuta**

CAPÍTULO 28

# Del problema al estándar: una ruta aplicada

La ruta siguiente encadena las herramientas en una situación hipotética, creada con fines didácticos EJEMPLO DIDÁCTICO. Los números no representan un resultado medido.

**Situación.** Una línea de envasado registra 14 paradas por "falla eléctrica" en seis meses. Mantenimiento cambia sensores y cables, y las paradas continúan.

## Paso 1. Ver: gemba y 5S

El equipo acompaña la higienización de la línea. Observa el chorro de agua caliente directo sobre los conectores de los sensores y encuentra puntos sin identificación, dentro de canaletas cerradas. Resultado: cada conexión recibe un código, y las canaletas pasan a tener tapa de inspección.

## Paso 2. Priorizar: Pareto

Los 14 eventos se reclasifican por causa y por punto.

| CAUSA RECLASIFICADA | EVENTOS |
|---|---|
| **Conector de sensor con agua** | 8 |
| **Empalme en canaleta con oxidación** | 3 |
| **Sensor con defecto** | 2 |
| **Cable roto** | 1 |

Once de las 14 paradas nacen en puntos de conexión. El problema deja de ser "eléctrico" y pasa a tener dirección.

## Paso 3. Entender: 5 porqués, Ishikawa y RCFA

1. ¿Por qué falló el sensor? Porque había agua en el conector.
2. ¿Por qué había agua? Porque el sello no resistió el lavado.
3. ¿Por qué no resistió? Porque el conector es IP67, y el lavado usa chorro caliente de alta presión.
4. ¿Por qué se especificó IP67? Porque la especificación describía la condición media del área, y no el lavado.
5. ¿Por qué el lavado no entró en la especificación? Porque no existe un estándar de especificación que pregunte por la peor condición.

La causa raíz está en el proceso de especificación, y no en la pieza. La apertura de los conectores retirados, fotografiados antes de la limpieza, confirma la entrada de agua por el sello.

## Paso 4. Prevenir: FMEA y poka-yoke

El equipo lista los modos de falla del punto: sello olvidado, cable fuera del rango de diámetro, conector a medio encajar, material incompatible con el detergente. Para cada uno busca una solución que impida el error: sellado co-moldeado, medición del cable antes de la compra, traba con respuesta táctil, consulta a la tabla de resistencia química.

## Paso 5. Estandarizar: trabajo estandarizado y mantenimiento autónomo

La instalación recibe una instrucción de una página, con longitud de pelado, verificación de la traba y foto del día de la instalación. El operador recibe la tarjeta de inspección visual del capítulo 12.

## Paso 6. Medir: MTBF, MTTR, OEE y costo

Un piloto cambia diez puntos. El equipo registra el intervalo entre fallas y el tiempo de reparación antes y después, usa el código de parada específico en el OEE y convierte las horas en dinero con el costo de la hora-máquina. Con esos datos arma la comparación de costo total del capítulo 18.

## Paso 7. Consolidar: kaizen, PDCA y A3

Si el piloto confirma la ganancia, se modifica la especificación de compra y el estándar pasa a las demás líneas. El caso se registra en un informe A3, para que la próxima planta del grupo no empiece de cero.

**ATENCIÓN**

La ruta no termina en el cambio del conector. Termina en el cambio del estándar de especificación, que es lo que impide que el problema se repita en otra línea.

CAPÍTULO 29

# Para profundizar: ruta de lectura

Esta guía nació de una serie de artículos del portal Manufatura Enxuta y del material técnico de Techno. Los enlaces siguientes llevan a las fuentes (en portugués), organizadas por tema.

## La serie sobre conexiones eléctricas industriales

- Techno do Brasil: tecnologia em conexões elétricas
- Conexões elétricas industriais: o ponto fraco da produção
- Como escolher conectores elétricos industriais: checklist
- IP66, IP68, IP69K e IK: como interpretar
- Condensação e infiltração de água em conexões
- Conexões industriais e TPM
- Lean: os desperdícios começam na escolha do componente
- Cases de conexões elétricas em ambientes hostis
- Custo total das conexões industriais (TCO)

## Herramientas de análisis y mejora

- Gemba walk
- 5S
- Diagrama de Pareto
- 5 porqués
- Diagrama de Ishikawa
- RCFA
- FMEA
- Poka-yoke
- Trabajo estandarizado (standard work)
- Kaizen
- PDCA
- Informe A3
- Gestión visual

## Mantenimiento y confiabilidad

- TPM
- Mantenimiento autónomo
- Mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo
- RCM
- Curva de la bañera
- MTBF e MTTR

## Indicadores y costo, con calculadoras

- OEE: cómo calcularlo, con calculadora
- Costo de la hora-máquina, con ejemplo resuelto
- Punto de equilibrio, con calculadora

## Techno

- Sitio de Techno do Brasil: technodobrasil.com.br
- Líneas de producto: technodobrasil.com.br/produtos
- Catálogo general y fichas técnicas: techno.it
- Tecnología anticondensación: xdry.it
- Plataforma de conectividad: ioth.it
- Video sobre elección y armonización de cables, citado en la presentación técnica: youtube.com/watch?v=D-NIUmdnJfk
- Relato del instalador de la cancha de fútbol, cuatro años después: instagram.com/p/C-Gn03dRojN

# Preguntas frecuentes

**¿Un conector IP68 puede lavarse con chorro de alta presión?** No necesariamente. Inmersión y chorro son ensayos distintos. Para lavado de alta presión y temperatura, el marcado debe incluir IP69 NORMA.

**¿Cuál es la diferencia entre IP69 e IP69K?** El IP69K viene de la norma de vehículos de carretera ISO 20653. El IP69 es el ensayo equivalente incorporado a la IEC 60529. En la práctica, indican el mismo tipo de exigencia NORMA.

**Encontré agua en un conector con el sello perfecto. ¿Cómo?**
Probablemente por condensación o por capilaridad a través del cable. Vea el capítulo 10.

**¿Puedo usar cinta o resina para reforzar el sellado?** Eso impide la inspección y oculta defectos de montaje. Lo recomendado es usar una conexión diseñada para el ambiente.

**¿Cuándo conviene usar macho y hembra en lugar de empalme?** Siempre que el equipo se retire periódicamente, o cuando el tiempo de reparación sea crítico.

**¿Qué significa conexión reinspeccionable?** Es la conexión que puede abrirse, verificarse y cerrarse de nuevo sin perder la función, porque no usa resina ni gel.

**¿Cómo saber si necesito protección anticondensación?** Ciclo térmico con humedad, electrónica sensible en el punto o historial de agua interna sin defecto de sellado son los principales indicadores.

**¿El grado IP garantiza la durabilidad?** No. El IP es un ensayo de tipo en producto nuevo. La durabilidad depende de los materiales y de los ensayos de envejecimiento.

**¿Por qué es tan importante el diámetro del cable?** Porque el prensacables solo sella dentro de un rango de diámetro. Fuera de él, la compresión de la goma es insuficiente o excesiva.

**¿Vale la pena cambiar todas las conexiones de la planta?**
No. Empiece por los puntos críticos y por los que concentran fallas, con piloto y medición.

# Conclusión: mejores conexiones, operaciones más confiables

La conexión eléctrica concentra, en pocos centímetros, casi todos los riesgos de una instalación: el ambiente, el montaje, el cable y el tiempo. Por ser pequeña y barata, suele recibir poca atención. Por trabajar en serie, basta una para detener la línea.

Esta guía recorrió el camino completo:

- **Especificar** a partir del ambiente, del cable y del circuito.
- **Interpretar** correctamente los grados IP e IK y reconocer sus límites.
- **Distinguir** infiltración, condensación y capilaridad.
- **Mantener** con estándar visual, inspección por condición y registro de causa.
- **Decidir** por el costo total, y no por el precio unitario.

La recomendación final es práctica. Elija una máquina, cuente las conexiones, reúna las fallas del último año y pruebe una mejora con medición. El resultado de ese piloto será el mejor argumento para el paso siguiente.

El equipo técnico de Techno do Brasil apoya el análisis del ambiente, la elección del cable y la definición de las conexiones para aplicaciones complicadas y hostiles.

# Créditos



CONTENIDO TÉCNICO

## Mario Adinolfi

Director de Techno do Brasil

Autor de la presentación técnica "Aplicaciones complicadas y hostiles", base de los datos de producto y de las aplicaciones reunidas en esta guía.



ANÁLISIS TÉCNICO Y CURADURÍA

## Vagner Soares

Profesor e Ingeniero de Producción

Especialista en Lean Manufacturing y Gestión del Comportamiento, con más de 20 años de experiencia en la industria automotriz y metalmecánica, en empresas como General Motors y Dana. Instructor y mentor del SENAI en el programa Brasil Mais Produtivo. Responsable del análisis técnico y de la curaduría de contenido de esta guía.

**Manufatura Enxuta**
manufaturaenxuta.com.br

# Sobre Techno do Brasil

Techno es un fabricante italiano de conexiones eléctricas de alta protección, con diseño y producción en Italia. El catálogo general registra 20 patentes, 12 marcas, cerca de 3.000 códigos de producto, 30 proyectos personalizados en los últimos tres años y presencia en 80 países TECHNO.

La misión declarada de la empresa es diseñar y desarrollar componentes de polímeros termoplásticos de alta calidad para soluciones en conexiones eléctricas de alta resistencia, facilitando la instalación y el mantenimiento y haciendo seguras las instalaciones y los equipos eléctricos TECHNO.

En Brasil, la operación tiene sede en Curitiba, PR, bajo la dirección de Mario Adinolfi.

**Techno do Brasil**
Rua Antonio Lacerda Braga, 960, CIC, Curitiba, PR
Teléfono: +55 41 98791 5907
E-mail: vendas@technodobrasil.com.br
Sitios: technodobrasil.com.br | techno.it | ioth.it

# Glosario

**Capilaridad.** Migración de líquido por espacios estrechos, como los huecos entre los hilos de un conductor.

**Co-moldeo.** Inyección conjunta de dos materiales, como plástico y goma, que forma una pieza única.

**Compression set.** Deformación permanente de una goma mantenida bajo compresión.

**Fretting.** Corrosión por fricción causada por micromovimiento entre superficies de contacto.

**IK.** Código de protección contra impactos mecánicos, definido por la IEC 62262.

**IP.** Código de protección contra sólidos y agua, definido por la IEC 60529.

**MTBF.** Tiempo medio entre fallas.

**MTTR.** Tiempo medio de reparación.

**OEE.** Índice de eficiencia global del equipo.

**PA66 GF.** Poliamida 66 reforzada con fibra de vidrio.

**Poka-yoke.** Dispositivo que impide que ocurra el error.

**Punto de rocío.** Temperatura por debajo de la cual el vapor de agua del aire se condensa.

**T-marking.** Temperatura de operación para la que se calificó el producto.

**TCO.** Costo total de propiedad.

**TPE.** Elastómero termoplástico.

**TPM.** Mantenimiento Productivo Total.

# Referencias

## Documentos de Techno

TECHNO. **Aplicações complicadas e hostis**. Presentación técnica de Mario Adinolfi, Director. Curso de Homologación de Instalaciones Techno do Brasil. Marechal Cândido Rondon: Mundo SENAI, 6 nov. 2026. 72 diapositivas.

TECHNO. **Catálogo general**: soluciones en conexiones eléctricas de alta protección, resistentes al polvo, al agua y al impacto mecánico. Código CATGENIT102024. Disponible en: https://www.techno.it. Consultado el 12 nov. 2026.

TECHNO DO BRASIL. **Sitio institucional**. Curitiba, 2026. Disponible en: https://technodobrasil.com.br. Consultado el 12 nov. 2026.

## Normas técnicas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 60529**: graus de proteção providos por invólucros (códigos IP). Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 62262**: graus de proteção assegurados pelos invólucros de equipamentos elétricos contra os impactos mecânicos externos (código IK). Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION. **EN 60998-1**: connecting devices for low-voltage circuits for household and similar purposes: part 1: general requirements. Brussels: CENELEC, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION. **EN 61984**: connectors: safety requirements and tests. Brussels: CENELEC, 2009.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60068-2-11**: environmental testing: part 2-11: tests: test Ka: salt mist. Geneva: IEC.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60300-3-3**: dependability management: part 3-3: application guide: life cycle costing. Geneva: IEC, 2017.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60529**: degrees of protection provided by enclosures (IP Code). Ed. 2.2. Geneva: IEC, 2013. Disponible en: https://webstore.iec.ch/en/publication/2452. Consultado el 12 nov. 2026.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62262**: degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code). Geneva: IEC, 2002. Amendment 1, 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1431-1**: rubber, vulcanized or thermoplastic: resistance to ozone cracking: part 1: static and dynamic strain testing. Geneva: ISO.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 20653**: road vehicles: degrees of protection (IP code): protection of electrical equipment against foreign objects, water and access. Geneva: ISO, 2023.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **NEMA 250**: enclosures for electrical equipment (1000 volts maximum). Rosslyn: NEMA.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 94**: tests for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances. Northbrook: UL.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 746C**: polymeric materials: use in electrical equipment evaluations. Northbrook: UL.

## Literatura técnica

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. **What is lean?** Boston: LEI. Disponible en: https://www.lean.org/explore-lean/what-is-lean/. Consultado el 12 nov. 2026.

LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. **The eight wastes of lean**. Boston: LEI. Disponible en: https://www.lean.org/the-lean-post/articles/the-eight-wastes-of-lean/. Consultado el 12 nov. 2026.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM**: total productive maintenance. Cambridge: Productivity Press, 1988.

OHNO, Taiichi. **Toyota production system**: beyond large-scale production. Portland: Productivity Press, 1988.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **Lean thinking**: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Simon & Schuster, 1996.

## Artículos de apoyo (en portugués)

CASES: conexões elétricas em ambientes hostis: soluções aplicadas. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/cases-conexoes-eletricas-em-ambientes-hostis-solucoes-aplicadas.html. Consultado el 12 nov. 2026.

COMO escolher conectores elétricos industriais: checklist. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/como-escolher-conectores-eletricos-industriais-checklist.html. Consultado el 12 nov. 2026.

CONDENSAÇÃO e infiltração de água em conexões elétricas: custo invisível. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/condensacao-e-infiltracao-de-agua-em-conexoes-eletricas-custo-invisivel.html. Consultado el 12 nov. 2026.

CONEXÕES elétricas industriais: ponto fraco da produção. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/conexoes-eletricas-industriais-ponto-fraco-da-producao.html. Consultado el 12 nov. 2026.

CONEXÕES industriais e TPM: confiabilidade e manutenção planejada. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/conexoes-industriais-e-tpm-confiabilidade-e-manutencao-planejada.html. Consultado el 12 nov. 2026.

CUSTO total das conexões industriais e competitividade. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/custo-total-das-conexoes-industriais-e-competitividade.html. Consultado el 12 nov. 2026.

GRAU de proteção IP66, IP68, IP69K e IK: como interpretar. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/grau-de-protecao-ip66-ip68-ip69k-ik-como-interpretar.html. Consultado el 12 nov. 2026.

LEAN manufacturing: desperdícios começam na escolha do componente. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/lean-manufacturing-desperdicios-comecam-na-escolha-do-componente.html. Consultado el 12 nov. 2026.

TECHNO do Brasil: tecnologia em conexões elétricas industriais. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/techno-do-brasil-tecnologia-em-conexoes-eletricas-industriais.html. Consultado el 12 nov. 2026.

## Herramientas y métodos en el portal Manufatura Enxuta (en portugués)

5 PORQUÊS. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/5-porques-analise-de-causa-raiz.html. Consultado el 12 nov. 2026.

5S: passo a passo para implantar os 5 sensos na fábrica. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/5s-passo-a-passo-chao-de-fabrica.html. Consultado el 12 nov. 2026.

CURVA DA BANHEIRA: confiabilidade, taxa de falha e Weibull. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/curva-da-banheira-confiabilidade-taxa-de-falha-e-weibull.html. Consultado el 12 nov. 2026.

CUSTO DA HORA-MÁQUINA: como calcular, com exemplo resolvido. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/custo-da-hora-maquina-como-calcular-com-exemplo-resolvido.html. Consultado el 12 nov. 2026.

DIAGRAMA DE ISHIKAWA: como fazer a espinha de peixe com 6M. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/diagrama-de-ishikawa-espinha-de-peixe.html. Consultado el 12 nov. 2026.

DIAGRAMA DE PARETO: o que é, regra 80/20 e como fazer. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/diagrama-de-pareto-regra-80-20.html. Consultado el 12 nov. 2026.

FMEA: o que é, como fazer e como calcular o NPR. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/fmea-analise-de-modo-e-efeito-de-falha.html. Consultado el 12 nov. 2026.

GEMBA WALK: como fazer a caminhada no gemba, roteiro e exemplo. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/gemba-walk-caminhada-gemba.html. Consultado el 12 nov. 2026.

GESTÃO VISUAL: como usar quadros e indicadores no chão de fábrica. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/gestao-visual-quadros-e-indicadores.html. Consultado el 12 nov. 2026.

KAIZEN: o que é, como aplicar e exemplo prático. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/kaizen-melhoria-continua.html. Consultado el 12 nov. 2026.

MTBF E MTTR: como calcular e usar os indicadores de manutenção. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/mtbf-mttr-indicadores-de-manutencao.html. Consultado el 12 nov. 2026.

MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: os 7 passos do pilar da TPM. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/manutencao-autonoma-tpm-7-passos.html. Consultado el 12 nov. 2026.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA, PREDITIVA E CORRETIVA: diferenças. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/manutencao-preventiva-preditiva-e-corretiva-diferencas.html. Consultado el 12 nov. 2026.

OEE: como calcular eficiência de equipamentos. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/oee-como-calcular-eficiencia-equipamentos.html. Consultado el 12 nov. 2026.

PDCA: o que é, as 4 etapas e exemplo prático na indústria. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/pdca-ciclo-de-melhoria.html. Consultado el 12 nov. 2026.

POKA-YOKE: o que é, tipos e exemplos de prevenção de erros. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/poka-yoke-prevencao-de-erros.html. Consultado el 12 nov. 2026.

RCFA: análise de causa raiz de falha em equipamentos. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/rcfa-analise-de-causa-raiz-de-falha-em-equipamentos.html. Consultado el 12 nov. 2026.

RCM: manutenção centrada em confiabilidade e as 7 perguntas. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/rcm-manutencao-centrada-em-confiabilidade-e-as-7-perguntas.html. Consultado el 12 nov. 2026.

RELATÓRIO A3: o que é, como fazer e exemplo preenchido. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/metodologia-a3-resolucao-de-problemas.html. Consultado el 12 nov. 2026.

TPM. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/tpm-manutencao-produtiva-total.html. Consultado el 12 nov. 2026.

TRABALHO PADRONIZADO (STANDARD WORK): como fazer, com exemplo. **Manufatura Enxuta**, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/trabalho-padronizado-standard-work.html. Consultado el 12 nov. 2026.

SOARES, Vagner. **Sobre o autor**. Manufatura Enxuta, 2026. Disponible en: https://manufaturaenxuta.com.br/sobre.html. Consultado el 12 nov. 2026.

## Ejemplos hipotéticos

La ruta del capítulo 28, los casos 5 y 6 del capítulo 21, los cálculos de confiabilidad en serie del capítulo 15, los valores de parada del capítulo 17 y el ejemplo de costo total del capítulo 18 se elaboraron con fines didácticos y no representan resultados medidos.