Cinco niveles para garantizar el desempeño de una planta solar



De la seguridad eléctrica a la confiabilidad de la energía entregada

Luis Fernando Agudelo Gómez
Ingeniero Electricista – Especialista en gestión de proyectos
Director líneas Janitza, Bender, Circutor, CTR, Iskra
Gerente Erasmus Electric Honduras
luis.agudelo@erasmus.com.co

¿Una planta que genera está necesariamente funcionando bien?

1

¿Es segura?

Personas y activos

2

¿Está conforme?

Construcción y diseño

3

¿Está saludable?

Deterioro bajo control

4

¿Es eficiente?

Pérdidas identificadas y medibles

5

¿Es confiable?

La energía es apta para ser entregada

Plan de temas

1

El modelo de cinco niveles

Por qué una planta que genera no siempre funciona bien

2

Los cinco niveles en detalle

Seguridad · Puesta en servicio · Predictivo · Desempeño · Calidad

3

Evaluación continua

Evidencias por nivel y arquitectura de evaluación por aplicación

4

Soluciones por nivel

Metrel · Hikmicro · Janitza · Bender · Stäubli · Vaisala

Un modelo de cinco niveles

Cada nivel responde una pregunta diferente y alimenta al siguiente.

No son campañas aisladas: forman un ciclo técnico durante toda la vida del activo.



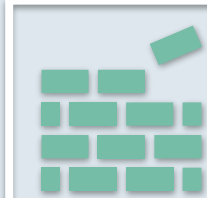
Los cinco niveles acompañan todo el ciclo de vida

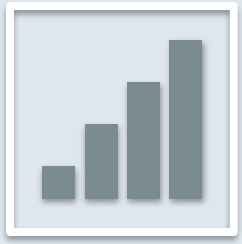
La puesta en servicio crea la referencia contra la cual se evalúa el futuro.



DISEÑO
- Seguridad y criterios de medida

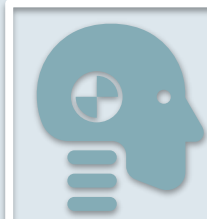
CONSTRUCCIÓN
- Calidad de montaje





COMISIONAMIENTO
- Línea base

OPERACIÓN
- Monitoreo y alarmas





MANTENIMIENTO
- Diagnóstico y verificación

Nivel 1 | Seguridad eléctrica

PREGUNTAS CLAVE

¿La instalación es segura para las personas?

¿Existen riesgos de incendio?

¿Los sistemas de protección funcionan?

Primero proteger. Después optimizar.

EVIDENCIAS

MΩ	Aislamiento
PE	Continuidad de tierra
DPS	Sobretensiones
DC/AC	Protecciones coordinadas
ARC	Riesgo de arco

Nivel 1 | Pruebas fundamentales de seguridad

PRUEBA	QUÉ VERIFICA	RIESGO CONTROLADO
Resistencia de aislamiento	Integridad dieléctrica DC y AC	Fuga, disparo, choque
Continuidad de tierra	Camino de protección	Tensión de contacto
Polaridad y tensión	Conexión correcta	Daño a equipos
Protecciones DC / AC	Desconexión ante falla	Incendio y daño
Puesta a tierra	Disipación y referencia	Sobretensión / contacto

“Parece correcto” no es evidencia: medir, registrar, comparar.

Nivel 1 | La protección es un sistema, no un dispositivo

1	2	3	4	5
FUSIBLES DC	**SECCIONAMIENTO**	DPS	**PUESTA A TIERRA**	**DETECCIÓN**
Sobrecorriente	Aislamiento seguro	Sobretensiones	Equipotencialidad	Arco / aislamiento

La coordinación y el estado real de las protecciones deben verificarse.

Nivel 2 | Puesta en servicio

PREGUNTAS CLAVE

- ¿La planta fue construida correctamente?
- ¿Entrega lo que fue diseñado?
- ¿Existe una línea base confiable?

Comisionar es convertir diseño en evidencia.

VERIFICACIONES

- IEC 62446
- Polaridad
- Voc e Isc
- Curvas I–V
- Irradiancia y temperatura
- Documentación de resultados

Nivel 2 | Un flujo de puesta en servicio repetible

1

INSPECCIÓN

Documentación y montaje

2

SEGURIDAD

Continuidad y aislamiento

3

ELÉCTRICO

Polaridad · Voc · Isc

4

DESEMPEÑO

Curva I–V y STC

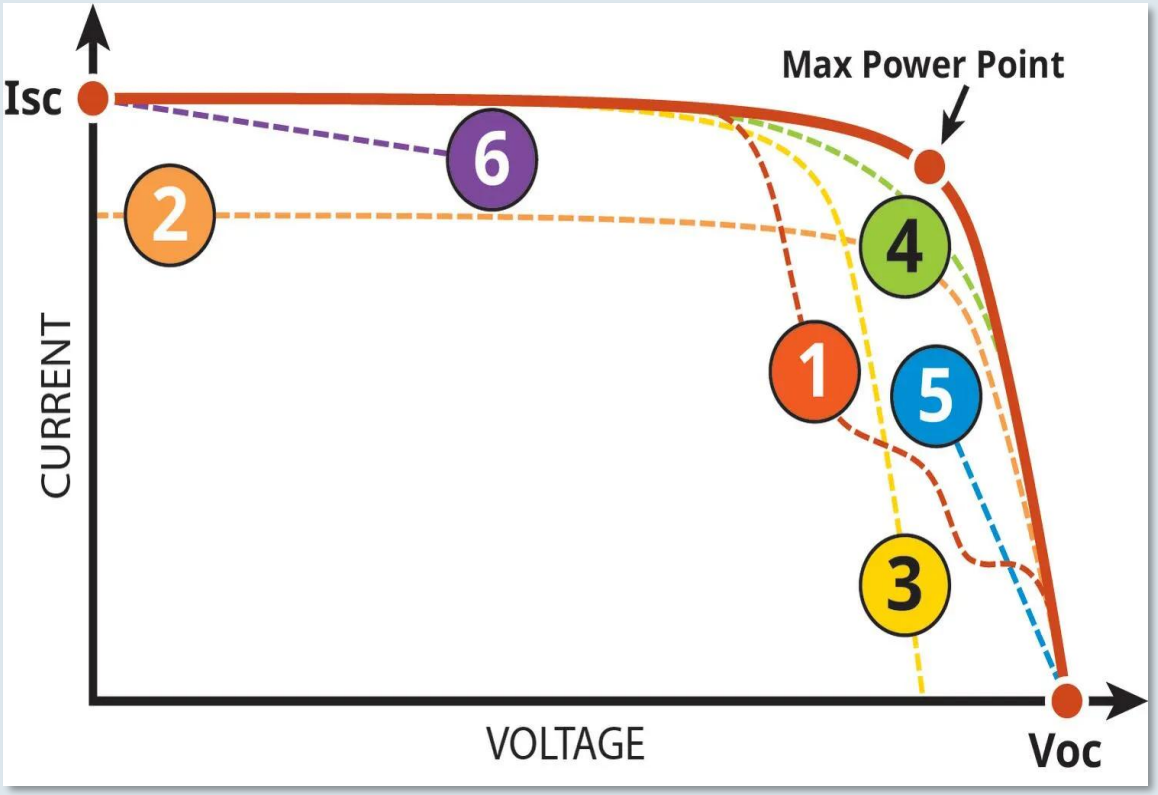
5

REPORTE

Línea base y hallazgos

Objetivo: una referencia trazable para comparar en el futuro.

Nivel 2 | Lo que revela la curva I–V



¿Qué observar?

- Isc y Voc
- Punto de máxima potencia
- Factor de forma
- Escalones y deformaciones
- Comparación con STC

La forma distingue pérdida uniforme de anomalía.

Nivel 3 | Inspección predictiva

PREGUNTAS CLAVE

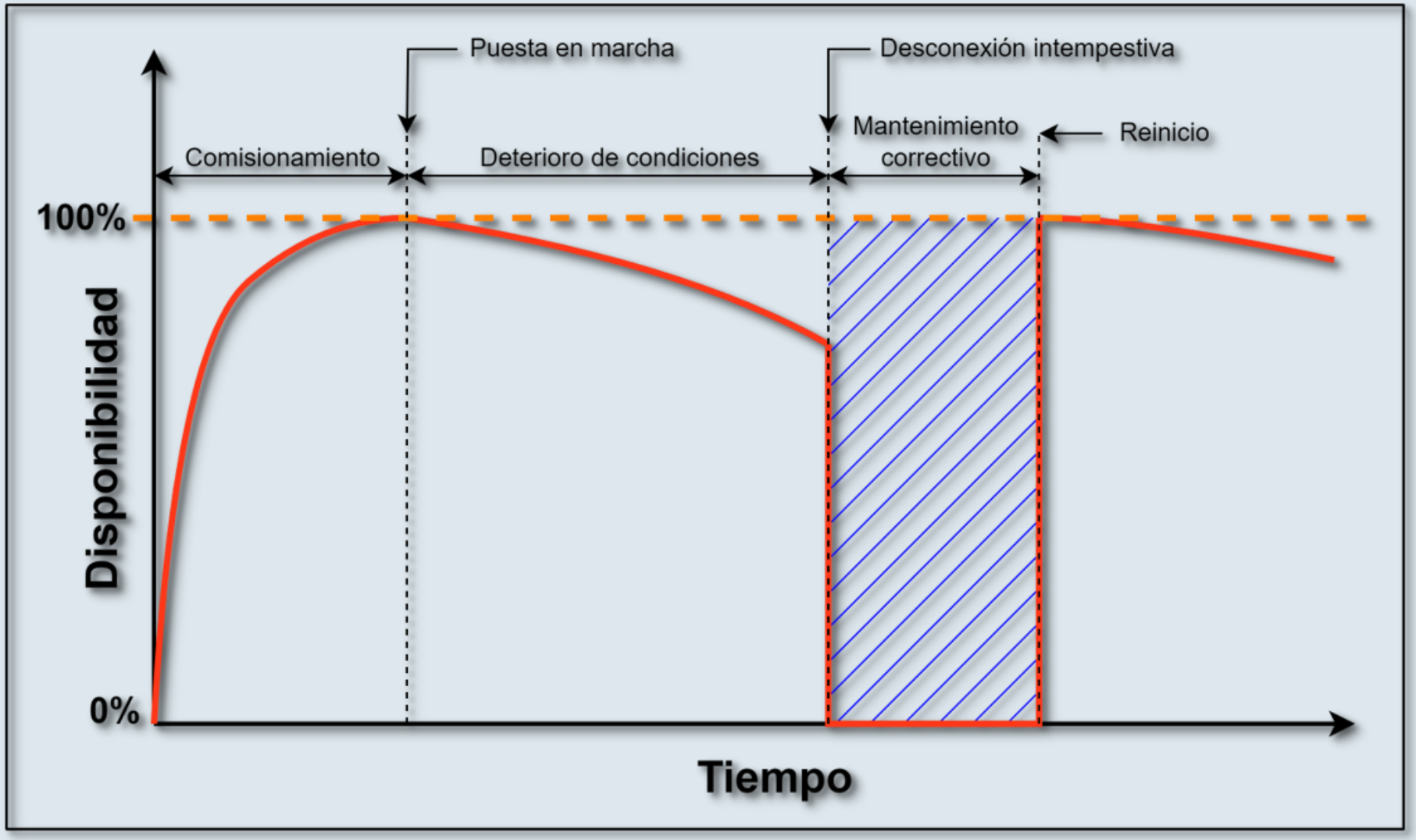
¿Dónde están apareciendo las primeras señales de deterioro?

Encontrar temprano cuesta menos que reparar tarde.

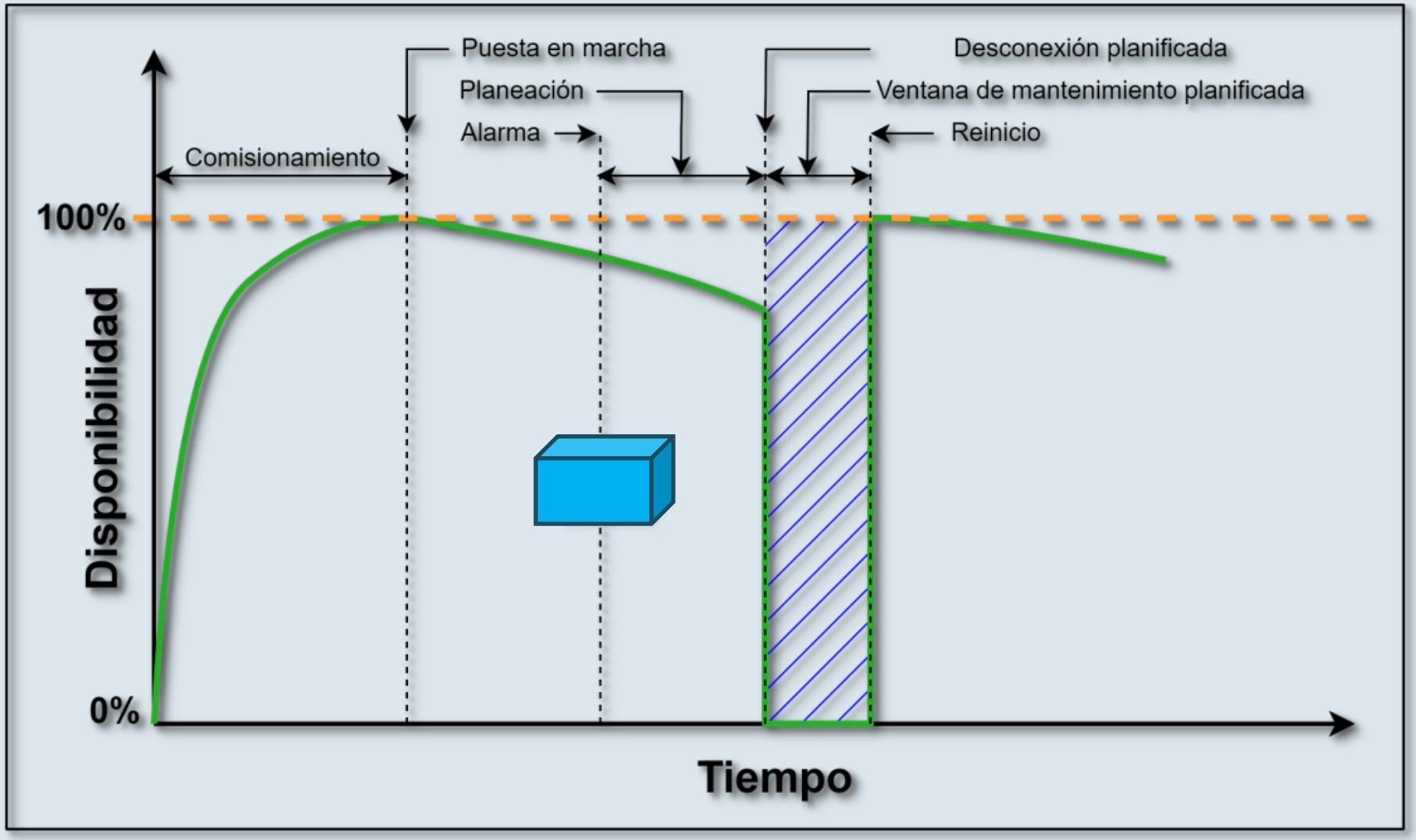
INDICIOS

- Hot spots
- Conectores defectuosos
- Fusibles dañados
- Cajas de unión anormales
- Módulos degradados
- Calentamiento en inversores

Nivel 3 | Inspección predictiva



Nivel 3 | Inspección predictiva



Nivel 3 | La temperatura deja una huella



Inspección efectiva

Carga e irradiancia adecuadas

Comparar equipos equivalentes

Controlar emisividad y reflejos

Registrar condiciones

Confirmar con medición eléctrica

Localizar no siempre significa confirmar la causa.

Nivel 4 | Monitoreo de desempeño

PREGUNTA CLAVE

¿Qué tan eficiente está operando la planta frente al recurso disponible?

El dato aislado informa. La tendencia explica.

VARIABLES

- Performance Ratio
- Irradiancia
- Temperatura de módulo
- Producción por inversor
- Comparación entre strings
- Disponibilidad y alarmas

Nivel 4 | Performance Ratio: más que kWh

PR = energía final normalizada ÷ recurso solar de referencia

1

IRRADIANCIA

Recurso disponible

2

TEMPERATURA

Condición del módulo

3

ENERGÍA

Resultado medido

4

DISPONIBILIDAD

Tiempo operativo

Un PR bajo es un síntoma: la causa está en los niveles anteriores.

Nivel 4 | Del sensor a la alarma accionable

1 — 2 — 3 — 4 — 5

SENSORES	MEDICIÓN	PLATAFORMA	ANALÍTICA	ACCIÓN
Irradiancia · T° · soiling	Inversores · strings · energía	Histórico y normalización	Comparación y tendencias	Alarma y orden de trabajo

Una alarma sin contexto genera ruido. Una alarma normalizada genera una decisión.

Nivel 5 | Calidad de energía y confiabilidad

PREGUNTA CLAVE

¿La energía producida cumple los requisitos de la red y del contrato?

Generar no basta: hay que entregar correctamente.

FENÓMENOS

- Armónicos
- Flicker
- Factor de potencia
- Desequilibrios
- Huecos y sobretensiones
- Eventos de frecuencia

Nivel 5 | Qué observar en el punto de conexión

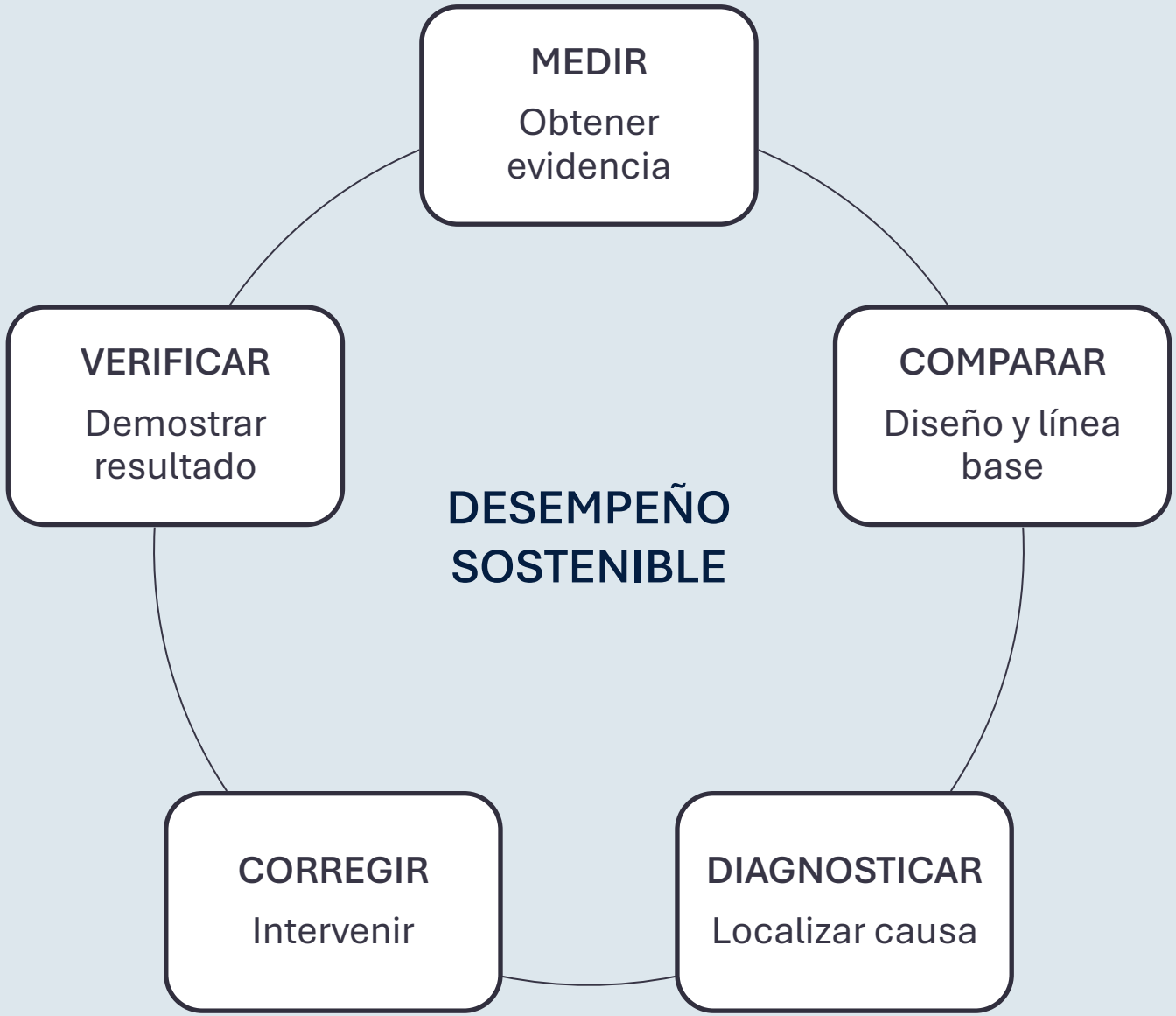
VARIABLE	EFECTO POSIBLE	DECISIÓN
Armónicos	Calentamiento / distorsión	Identificar fuente y tendencia
Flicker	Variación perceptible	Correlacionar con operación
Factor de potencia	Penalización / capacidad	Revisar control reactivo
Desequilibrio	Estrés de equipos	Evaluar fases y transformador
Eventos de tensión	Desconexión / protección	Coordinar ajustes y red

Registrar con tiempo, contexto y criterio normativo.

Cinco niveles, cinco tipos de evidencia

NIVEL	PREGUNTA	EVIDENCIA	TECNOLOGÍAS
1 · Seguridad	¿Es segura?	MΩ, continuidad, protecciones	Metrel · Bender
2 · Puesta en servicio	¿Está conforme?	Voc, Isc, I–V, STC	Metrel · Neo
3 · Predictivo	¿Se deteriora?	Temperatura y anomalías	HIKMICRO
4 · Desempeño	¿Opera eficientemente?	PR, tendencias, alarmas	Janitza · Vaisala
5 · Calidad	¿Entrega correctamente?	PQ y eventos	Janitza · Metrel

La evaluación técnica es un ciclo continuo



Construir una arquitectura de evaluación por aplicación

PRUEBA DE CAMPO	Metrel · HIKMICRO	**Campañas y diagnóstico**
VIGILANCIA CONTINUA	Bender	**Aislamiento y condiciones críticas**
MONITOREO ENERGÉTICO	Janitza	**Desempeño y calidad de energía**
RECURSO Y AMBIENTE	Vaisala	**Normalización y contexto operativo**
CONFIABILIDAD eBOS	Stäubli	**Conectores y cableado de alta calidad**

Erasmus acompaña la selección según riesgo y objetivo.

La salud de una planta solar es la suma de...



Una planta no se optimiza una sola vez.
Se evalúa, se compara y se mejora continuamente.

SOLUCIONES POR NIVEL

METREL

Seguridad eléctrica y puesta en servicio

NIVEL 1 · SEGURIDAD

NIVEL 2 · PUESTA EN SERVICIO

NIVEL 5 · CALIDAD

Pruebas de campo según IEC 62446, curvas I–V y análisis de resultados con PVAnalyser.

Tecnología de los módulos fotovoltaicos comerciales





MI 3108



MI 3109



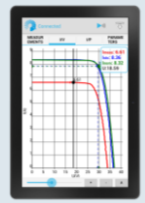
A 1378

1000 V y 15 A Max

Soluciones METREL

Tecnología

- ✓ Tensión máxima del sistema 1000 V CC
- ✓ Corriente máxima de cortocircuito hasta 8 A
- ✓ Eficiencia del módulo 17 – 19%



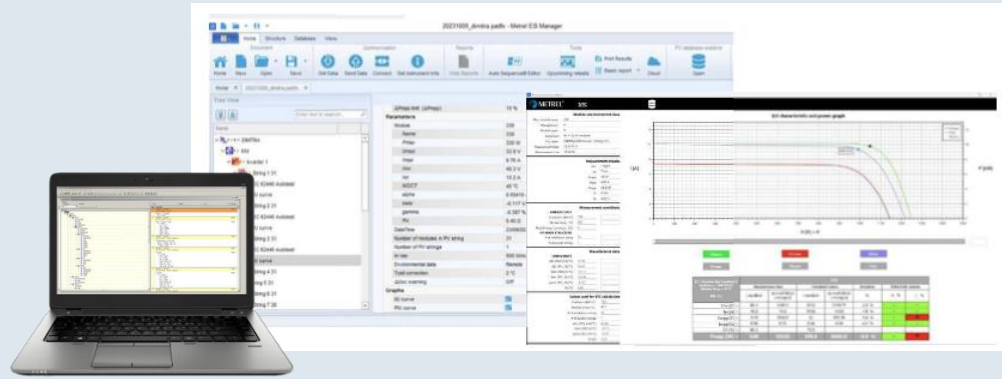
EurolinkPV para Android



EurolinkPV PRO con PVAnalyser para MSWindows

Tecnología de los módulos fotovoltaicos comerciales





Metrel ES Manager con PVAnalyser para MSWindows

Soluciones METREL



MI 3115
20A



A 1378



MI 3114
40A

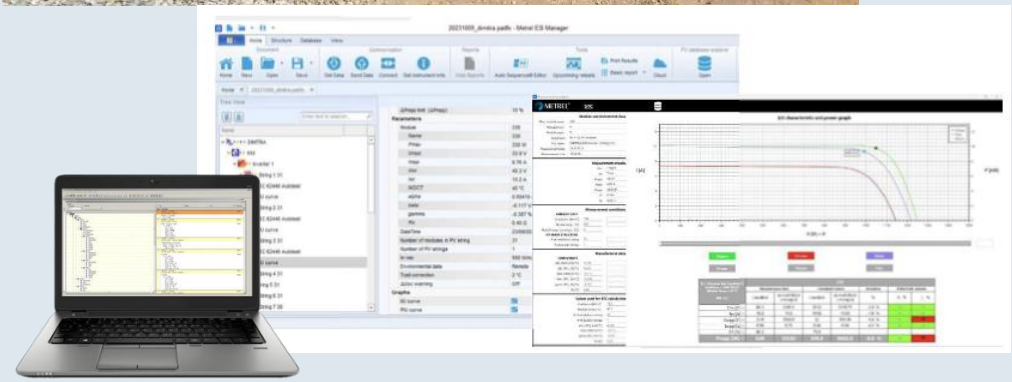
1500 V

Tecnología de los módulos fotovoltaicos comerciales



Soluciones METREL





Metrel ES Manager con PVAnalyser para MSWindows



A 1785

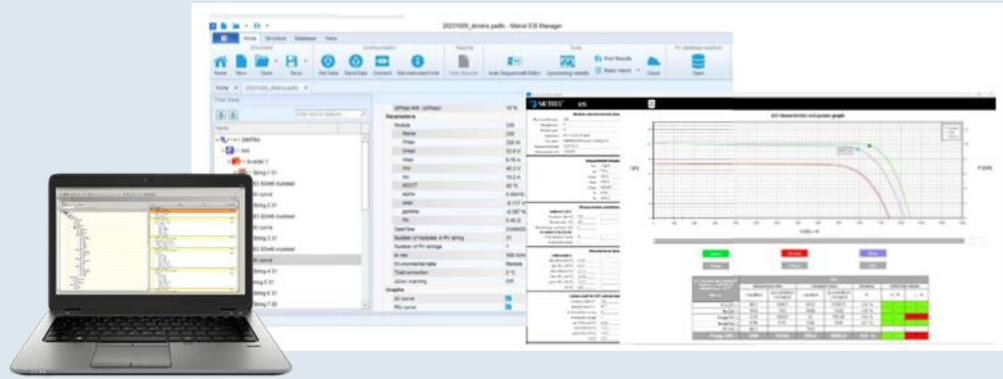
Mi 3116
1500 V
40 A

Comparativa de analizadores fotovoltaicos METREL

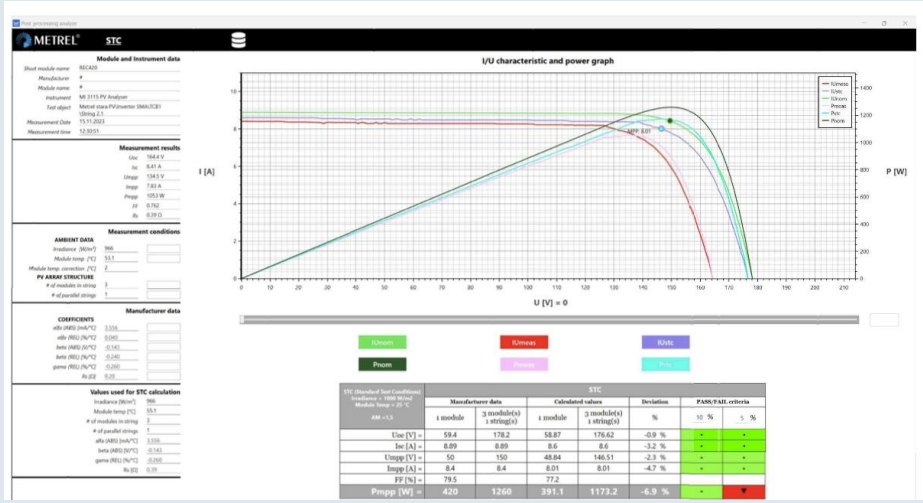
Característica	MI 3114 PV Tester	MI 3115 PV Analyser	MI 3116 PV Analyser XA
Normas aplicables	IEC 62446-1, IEC 61557	IEC 62446-1, IEC 62446-2, IEC 61557	IEC 62446-1, IEC 62446-2, IEC 61557
Tensión máxima de prueba	1500 VDC	1500 VDC	1500 VDC
Corriente máxima de prueba	40 A	20 A	40 A
Pruebas de categoría 1	✅ Auto Test	✅ Auto Test	✅ Auto Test
Pruebas de categoría 2	❌ No	✅ Sí	✅ Sí
Medición de curva I/U (I-V)	❌ No	✅ Sí	✅ Sí
Corrección de parámetros	✅ Sí	✅ Sí	✅ Sí
Pantalla táctil a color	✅ Sí	✅ Sí	✅ Sí
Unidad remota inalámbrica (Wi-Fi)	✅ Sí	✅ Sí	✅ Sí
Soporte para paneles bifaciales	❌ No	❌ No	✅ Sí
Método de medición	Capacitivo	Capacitivo	Capacitivo
Software MESM incluido	✅ Sí	✅ Sí	✅ Sí
Aplicaciones típicas	Inspección inicial, mantenimiento	Inspección, diagnóstico, mantenimiento	Todo lo anterior + análisis avanzado

Metrel ES Manager con PVAnalyser

- ✓ Análisis fotovoltaico especializado
- ✓ Resumen gráfico y numérico
- ✓ Cambio de parámetros con resultado inmediato



Metrel ES Manager con PVAnalyser para MSWindows



Funciones especiales

- ✓ Cambio de parámetros después de la medición
- ✓ Ahorra tiempo al corregir errores de medición.
- ✓ Aplica a mediciones Uoc/Isc e I/U.
- ✓ Editables: tipo de módulo, módulos por cadena y cadenas en paralelo.

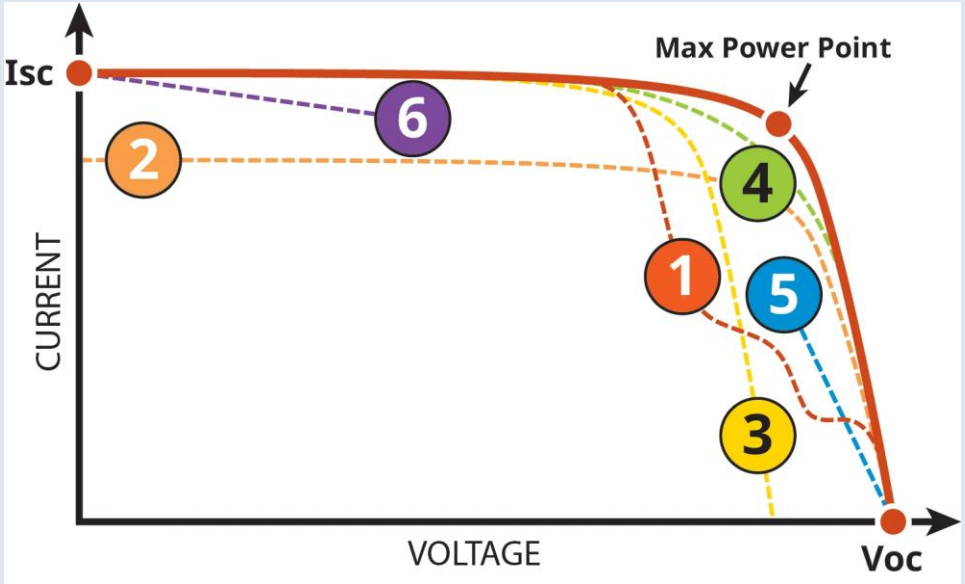
* Se aplica a una medición o a todo un elemento estructural.

Recuerde: con parámetros incorrectos, no hay que repetir la prueba.

Pruebas de Categoría 1
(Aplicables a todos los sistemas FV)

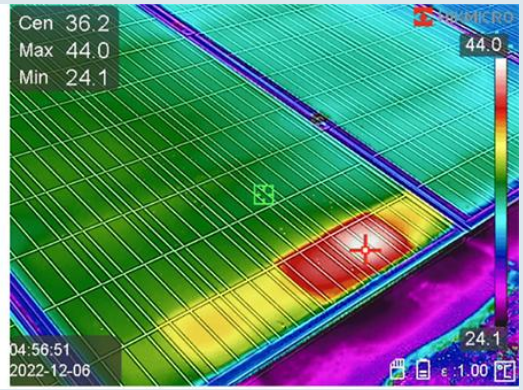
- ✓ Continuidad del conductor de protección (PE) y equipotencial.
- ✓ Polaridad de cables antes de conectar al inversor.
- ✓ Caja de combinación: conexión correcta de las cadenas.
- ✓ Tensión en circuito abierto (Voc) de las cadenas.
- ✓ Corriente de cortocircuito u operación (Isc).
- ✓ Funcionamiento de interruptores y relés.
- ✓ Resistencia de aislamiento.

Pruebas de Categoría 2 (Para sistemas grandes o complejos)



- ✓ Curva I-V para evaluar el rendimiento de las cadenas.
- ✓ Termografía para detectar puntos calientes y fallos en diodos de bypass.





SOLUCIONES POR NIVEL

HIKMICRO

Inspección predictiva

NIVEL 3 · PREDICTIVO

Termografía portátil y fija para encontrar el deterioro antes de que se convierta en falla.

Herramientas de inspección

La termografía detecta fallas en paneles de forma rápida, a distancia y sin detener la operación.

La **IEC 62446** fija irradiación mínima, ángulo de captura, limpieza y emisividad. Las cámaras **HIKMICRO** cumplen estos requisitos.

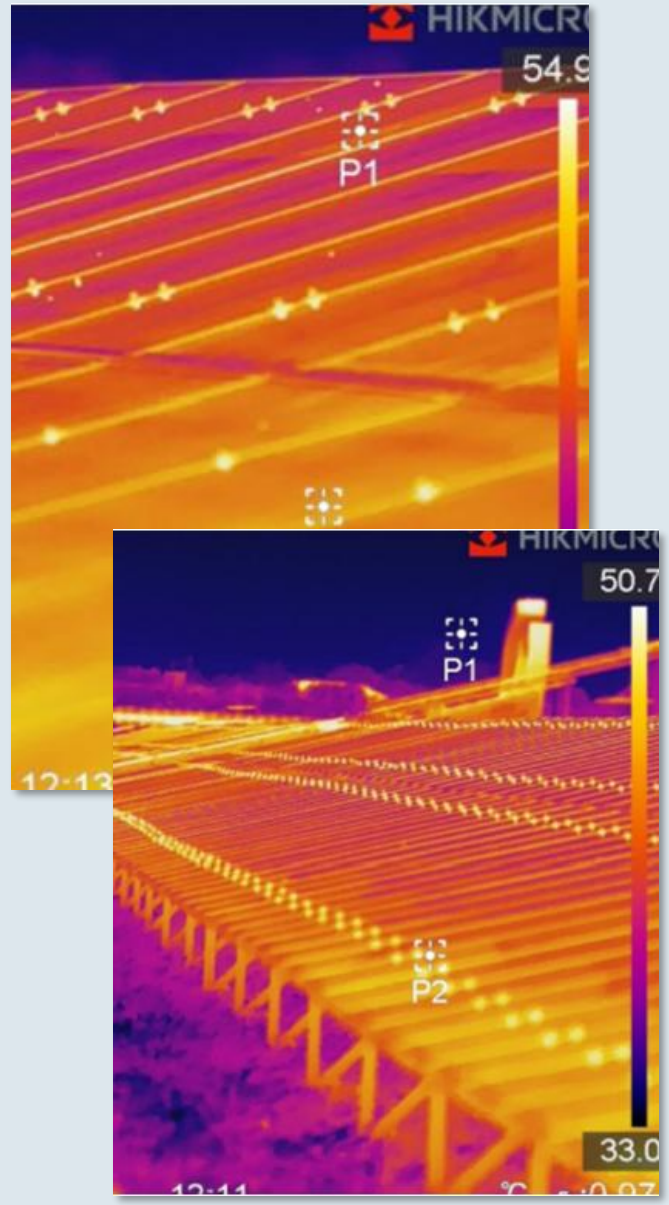


Termografía HIKMICRO para la eficiencia solar

Las cámaras térmicas HIKMICRO optimizan el mantenimiento frente a la inspección manual.

Las imágenes térmicas permiten:

- ✓ Detectar diferencias de temperatura entre paneles.
- ✓ Identificar polvo, sombras o celdas defectuosas.
- ✓ Dirigir limpieza y reparación.
- ✓ Maximizar producción y vida útil.



Monitoreo del rendimiento y la salud del sistema

La cámara HIKMICRO Serie M detecta sobrecalentamiento y degradación sin contacto, y reduce el tiempo de inactividad.



Mantenimiento predictivo y detección de fallas

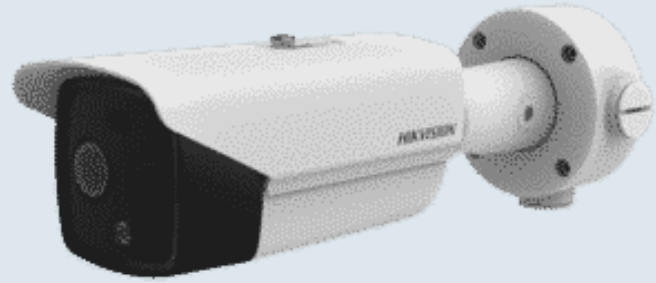


Las cámaras HIKMICRO series SP y G detectan puntos calientes y gradientes anormales antes de la falla, para intervenir a tiempo y reducir costos.



Optimización de la recolección de energía en tiempo real

Las imágenes térmicas en tiempo real, con análisis avanzado, permiten ajustar inclinación, orientación y seguimiento según el clima y la irradiancia, para maximizar la energía y el retorno de la inversión.





SOLUCIONES POR NIVEL

JANITZA

Desempeño y calidad de energía

NIVEL 4 · DESEMPEÑO

NIVEL 5 · CALIDAD

Medición, monitoreo y analítica con GridVis, desde el inversor hasta el punto de conexión.

¿Por qué es clave el monitoreo en sistemas solares?

- ✓ Variabilidad de la producción por condiciones climáticas.
- ✓ Necesidad de detectar fallos en tiempo real (inversores, paneles, conexiones).
- ✓ Optimización del rendimiento y mantenimiento predictivo.
- ✓ Mejora en la gestión energética y reducción de costos operativos.



Soluciones para monitoreo fotovoltaico



Equipos destacados:

- ✓ UMG 103-CBM: compacto, económico, ideal para instalaciones pequeñas.
- ✓ UMG 604E-PRO: análisis avanzado de calidad eléctrica, detección de armónicos, transitorios, flicker, etc.
- ✓ UMG 800 / 801 / 804 / 806: soluciones modulares para instalaciones más complejas.
- ✓ Smart Energy Panels: visualización intuitiva en sitio.



Software

- ✓ GridVis: Visualización gráfica de datos.
- ✓ Alarmas, reportes automáticos y análisis de calidad de energía.
- ✓ Integración con ISO 50001 para gestión energética.

Beneficios del monitoreo con Janitza

- ✓ Transparencia total en el flujo de energía.
- ✓ Detección temprana de fallos y reducción de tiempos de inactividad.
- ✓ Cumplimiento normativo (EN 50160, Código de Red).
- ✓ Optimización de la producción solar y reducción de emisiones de CO_2.
- ✓ Seguridad eléctrica mediante monitoreo de corriente residual y calidad de tensión.



Gestión de energía con valor añadido

Gestión de la energía
ISO 50001

- Reducir las emisiones de CO_2
- Reducir los costos energéticos
- Mejorar la eficiencia energética

Calidad de la energía
EN 50160

- Supervisar la tensión según norma
- Asegurar la disponibilidad
- Prevenir fallas del sistema
- Optimizar el mantenimiento

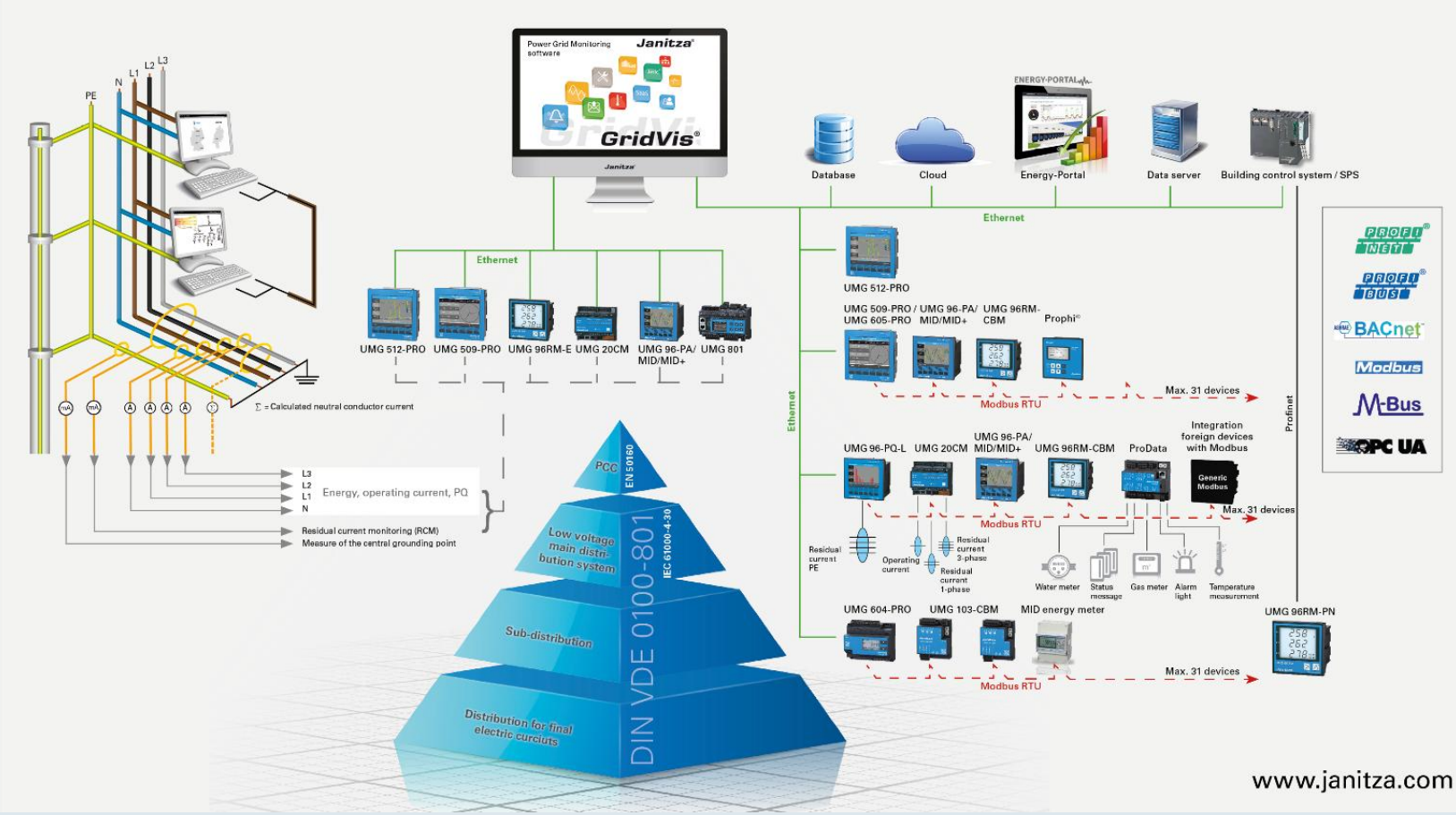
Corriente residual
RCM

- Reducir el esfuerzo de inspección
- Garantizar la seguridad del sistema
- Detectar fallas a tiempo
- Mejorar la protección contra incendios

Gestión de la carga
Control inteligente

- Mejorar la eficiencia energética
- Reducir los picos de potencia
- Optimizar el uso de la capacidad

Máxima transparencia con los instrumentos de medición de energía JANITZA



¿Por qué medir?

Las ventajas que le proporciona la gestión de energía personalizada

Costos

- Reducir gastos energéticos
- Aumentar la rentabilidad
- Detectar potencial de ahorro
- Evitar picos de carga
- Acceder a beneficios tributarios

Operación

- Más seguridad y disponibilidad
- Menor riesgo de incendio
- Mayor productividad
- Procesos optimizados a largo plazo

Sostenibilidad

- Menores emisiones de CO_2
- Mejor imagen corporativa

SOLUCIONES POR NIVEL

BENDER

Vigilancia continua del aislamiento

NIVEL 1 · SEGURIDAD

ISOMETER® isoPV y localización automática de fallas de aislamiento, con la planta en operación.

Herramientas de protección, monitoreo y vigilancia





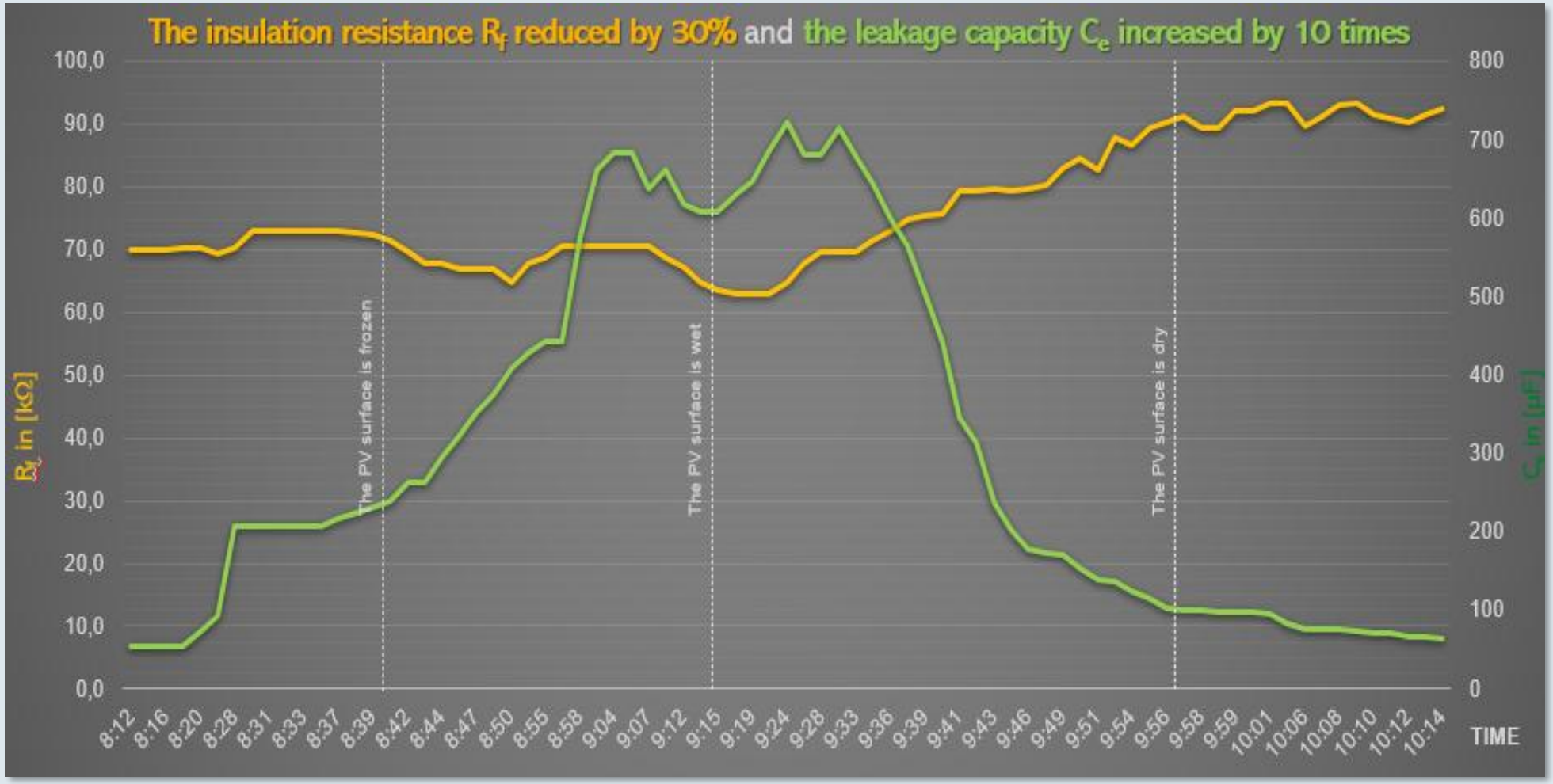
Pruebas de categoría 1:

- Resistencia de aislamiento

El aislamiento se deteriora.

- Polvo
- Humedad
- Temperaturas extremas

Afectación del aislamiento en condiciones reales



Seguridad eléctrica para energías renovables

Bender ofrece soluciones probadas para operar con seguridad plantas solares, eólicas, hidráulicas y de biomasa.

Detección anticipada
Riesgos eléctricos

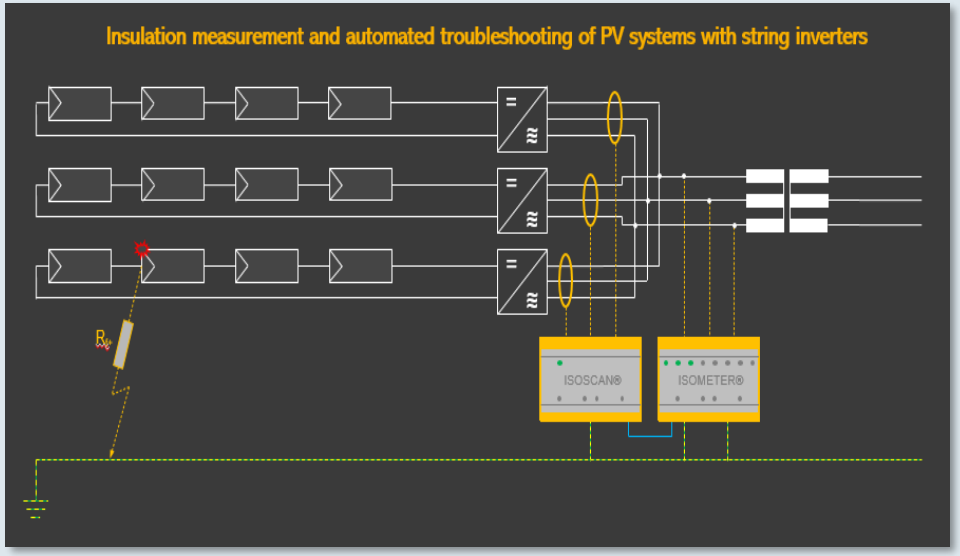
Protección garantizada
Personas e instalaciones

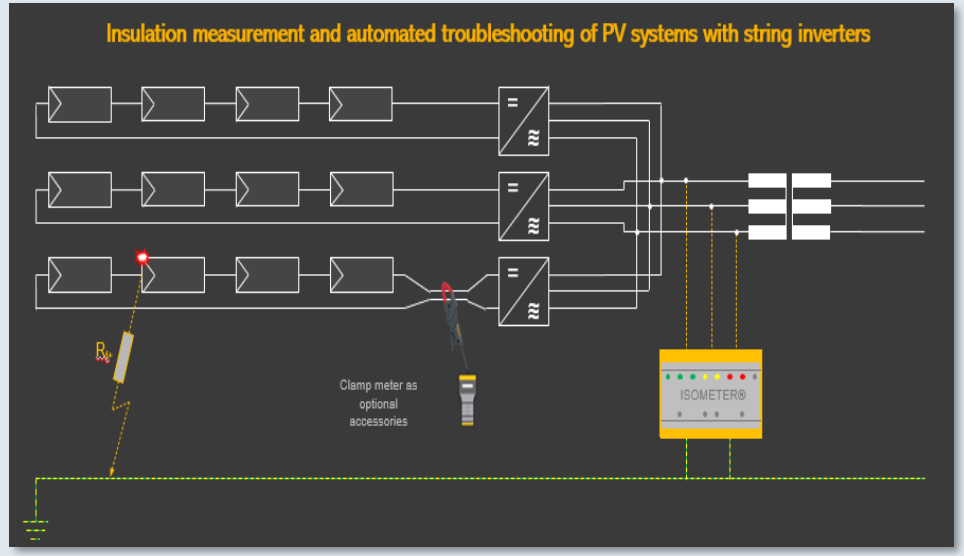
Reconocimiento inmediato
Estados críticos

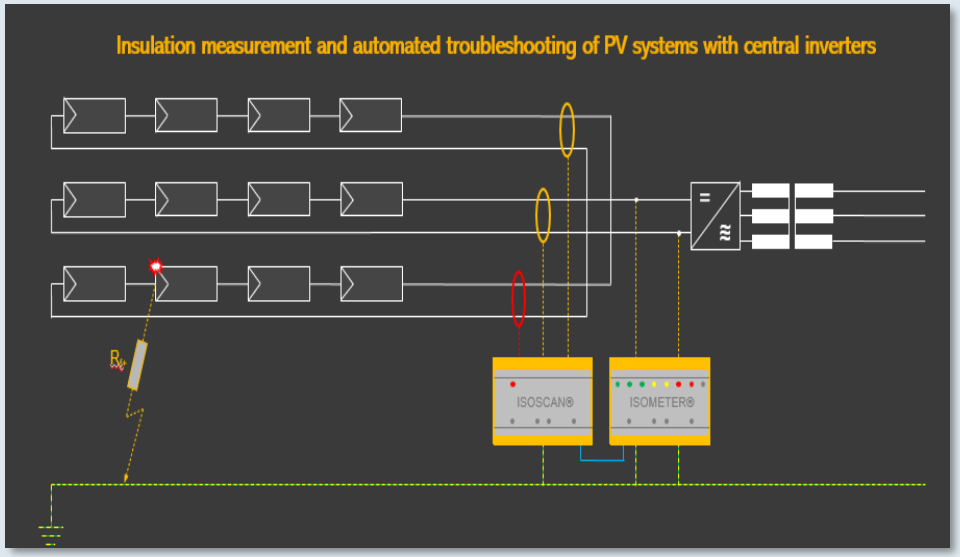
Riesgo minimizado
Fallas e interrupciones

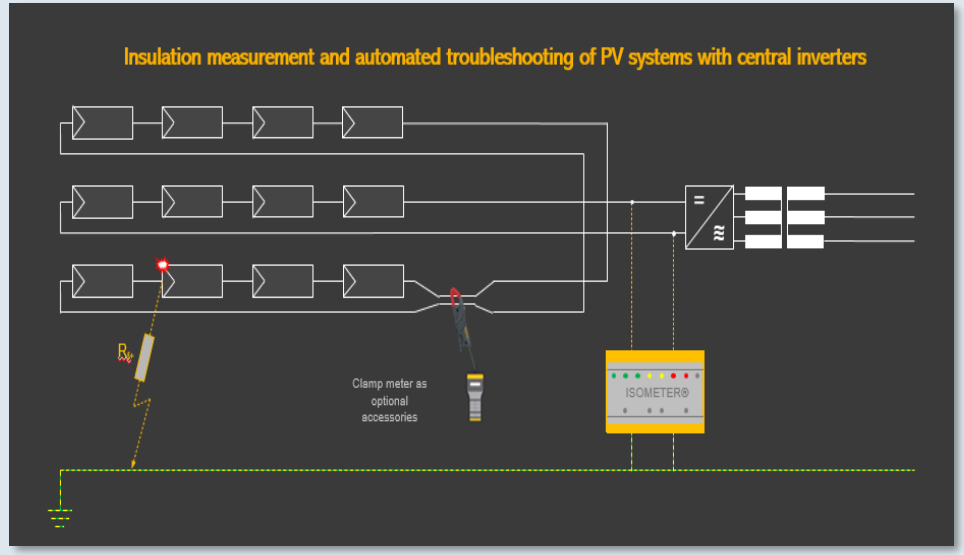
Acción preventiva
Disponibilidad

Operación eficiente
Gestión de la instalación


Insulation measurement and automated troubleshooting of PV systems with string inverters
ISOSCAN®
ISOMETER®


Insulation measurement and automated troubleshooting of PV systems with string inverters
Clamp meter as optional accessories
ISOMETER®


Insulation measurement and automated troubleshooting of PV systems with central inverters
ISOSCAN®
ISOMETER®


Insulation measurement and automated troubleshooting of PV systems with central inverters
Clamp meter as optional accessories
ISOMETER®

Soluciones de monitoreo y protección para cada etapa de tu instalación

Desde plantas pequeñas hasta grandes instalaciones, la misma tecnología, con la escala que necesitas.

Plantas pequeñas y monitoreo en cadena

Soluciones compactas para instalaciones distribuidas y en planta de menor tamaño.



Plantas medianas

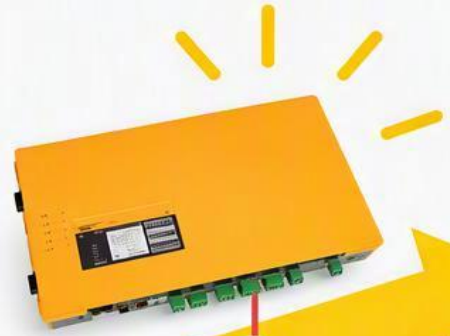
Mayor capacidad para instalaciones en crecimiento.



Grandes plantas

Alto rendimiento para instalaciones complejas y de gran escala.





Plantas pequeñas

Plantas medianas

Grandes plantas

¡Solo el dispositivo con ubicación de falla!

Identifica de forma precisa y rápida el punto de falla.

Seguridad
Protección confiable en todo momento.

Escalabilidad
Una solución para cada necesidad.

Confiabilidad
Tecnología probada en la industria.

Precisión
Localiza fallas sin perder tiempo.

SOLUCIONES POR NIVEL

STÄUBLI

Conexiones DC confiables

NIVEL 1 · SEGURIDAD

NIVEL 4 · DESEMPEÑO

Conectores Original MC4 para strings y homeruns de hasta 1500 V DC.



El conector DC define pérdidas y riesgo de incendio

~50 %

de la capacidad FV instalada en el mundo usa conectores Original MC4[1]



Resistencia de contacto

Un contacto degradado eleva la resistencia y genera calor en cada conexión.



Arco e incendio

El calor sostenido deteriora el aislamiento y puede iniciar un arco eléctrico.



Tecnología MULTILAM

Mantiene baja la resistencia de contacto durante toda la vida útil.

1. Stäubli Electrical Connectors, 2021: más de 465 GW conectados con Original MC4.

Mezclar marcas de conectores anula la certificación

Conexión original

Macho y hembra del mismo fabricante y tipo

- ✓ Certificación IEC 62852 y UL 6703 válida
- ✓ Contacto estable en el tiempo
- ✓ El fabricante responde por la conexión

Cross-mating

Marcas distintas «compatibles MC4»

- ✗ Pierde la certificación IEC y UL
- ✗ Fallas, pérdidas e incendios
- ✗ Ningún fabricante responde por la falla

IEC 60364-7-712: macho y hembra deben ser del mismo tipo y del mismo fabricante.[1]

1. IEC 60364-7-712:2017. Fuente: Stäubli Electrical Connectors, Cross-mating of PV connectors.

Portafolio Original MC4 para cada tipo de conexión

MC4-Evo 2A[1]

Conector de cable para strings y homeruns

- 1500 V DC (TÜV, UL, JET)
- Hasta 69 A
- Resiste niebla salina y amoníaco

MC4-Evo ready

Ensamble sin crimpado ni herramientas especiales

- 1500 V DC (IEC)
- Hasta 30 A
- Compatible con la familia Original MC4

MC4-Evo 2 branch

Derivación para strings en paralelo

- Doble certificación 1500 V DC
- Plug-and-play: sin crimpado ni torque
- IEC 62852 y UL 6703

Erasmus acompaña la selección según cable, corriente y ambiente.

1. El MC4-Evo 2A reemplazó al MC4-Evo 2 a finales de 2023. Fuente: Stäubli Electrical Connectors, fichas técnicas.

SOLUCIONES POR NIVEL

VAISALA

Recurso solar y salud del transformador

NIVEL 4 · DESEMPEÑO

NIVEL 5 · CONFIABILIDAD

Estación meteorológica AWS810 Solar Edition y monitor DGA en línea OPT100 Optimus.



Sin irradiancia en sitio, el PR no tiene referencia

IEC 61724-1

es la norma de monitoreo de desempeño FV que sigue la estación AWS810 Solar Edition[1]

Irradiancia

Es la base del PR: sin ella, una pérdida de energía no se distingue de un día nublado.

Temperatura y viento

Corrigen la potencia esperada del módulo según las condiciones reales del sitio.

Soiling

Cuantifica la pérdida por suciedad y orienta cuándo programar la limpieza.

1. AWS810 Solar Edition mide irradiancia, viento, temperatura y soiling según IEC 61724-1. Fuente: Erasmus, línea Vaisala para energía solar.

El DGA en línea vigila el transformador de la planta



Cero consumibles

Medición infrarroja sin cilindros de gas ni piezas a reemplazar en 15 años de vida útil.

Instalación en menos de 2 horas

Interfaz web guiada; no requiere técnicos del fabricante para programarlo.

Diagnóstico integrado

Tendencias de gases, triángulos de Duval, alarmas configurables y exportación CSV.

DGA: análisis de gases disueltos en el aceite. Fuente: Vaisala, Optimus OPT100 – Monitor DGA en línea, folleto B211715ES-F, 2024.



Luis Fernando Agudelo Gómez · luis.agudelo@erasmus.com.co