

138 condiciones vigiladas. Hasta 18 meses de anticipación.

Diagnóstico continuo del sistema de bombeo completo — acuífero, pozo, bomba, columna, motor, variador, tablero y red eléctrica — comparando cada segundo lo medido contra el comportamiento propio del equipo.

138

condiciones vigiladas por pozo

≤ 18 meses

de anticipación según la falla

150

equipos por Servidor de Planta

0

conexiones a su red corporativa



Instalación tipo. Medición, Procesador del Equipo y tablero, dentro de la caseta.

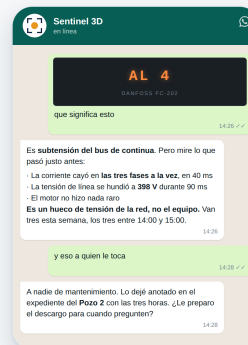
01 · QUÉ HACE

Predice, programa y genera la orden de trabajo.

Predice	Una desviación sostenida del comportamiento propio del equipo abre un diagnóstico con la señal de origen y su nivel de confianza. Desviaciones desde el 5 % son detectables.
Programa paros	Cada diagnóstico llega con ventana de intervención: inmediata · esta semana · próxima semana · este mes.
Órdenes de trabajo	Con la acción, la herramienta y la refacción; indica si la pieza está en el stock de sitio. La intervención se cierra con confirmación de campo y queda en bitácora.
Se integra	Diagnósticos y órdenes de trabajo expuestos por API local en formato estándar desde el primer día. Conectores para SAP PM, Fracttal, MP Software, Maximo y Fiix.
Dice qué NO hacer	Cancela el mantenimiento preventivo sobre equipos sanos: «no abras esa bomba, el rodamiento está bien». Con tres personas y cuarenta máquinas, el permiso para no hacer algo vale tanto como el aviso.
Recuerda	Expediente vivo por equipo: qué se le hizo, qué se encontró, qué falló antes y cuándo se cambió. Se llena solo con lo que pasa por el canal, y deja constancia de cada intervención que usted ordenó y de lo que consiguió — con números, no de memoria.
El equipo es suyo	Se vende, no se renta. Su historia completa vive en el disco del sitio —de por vida, a máxima resolución— y sigue siendo suya aunque no renueve el servicio anual.

Sentinel le escribe. No hay pantalla que vigilar.

Sentinel es un contacto	Está en el grupo de mantenimiento de WhatsApp y habla en privado con cada quien. No hay que instalar nada, ni cambiar de red, ni aprender un sistema nuevo.
Avisa a quien le toca	El padrón por especialidad decide el destinatario. El aviso llega con botones: Voy en camino · No puedo · Ya está. Si nadie acusa recibo en el plazo definido, escala al siguiente contacto.
La bitácora se llena hablando	El técnico manda una nota de voz o una foto desde donde está y queda archivada contra ese equipo. Con guantes nadie escribe.
Mensajes de texto	El respaldo que llega a cualquier celular sin datos, sin app y sin red. Si el enlace falla, los avisos siguen saliendo.
Semáforo y panel	Verde, ámbar y rojo en el tablero, legibles al pasar. Y las 138 condiciones completas en el navegador, con sus cinco estados: Normal · En observación · Detectada · Requiere confirmar · Fuera de cobertura.
Reporte semanal	Llega en PDF por mensaje al responsable de mantenimiento: qué cambió, qué está en observación, qué viene y qué puede cancelarse porque el equipo está sano. Se genera solo; él lo revisa, lo firma y lo reenvía. Sin teclado y sin ratón.



Pregúntele. Foto del display del variador y una duda: contesta con lo que pasó en los milisegundos previos.



La bitácora se llena hablando. Y el parte semanal llega *sin firmar*, para que lo revise el responsable.

Mantenimiento · Zona Pozos

Sentinel, R. Ramírez, J. Cano, +3

▲ **POZO 2 · Bomba sumergible**

Fuga a tierra en aumento: la componente resistiva subió **38 % en once días**. No es humedad, es aislamiento.

Ventana: **3 a 5 semanas** antes de disparo

Qué hacer: medir aislamiento con el motor bloqueado y revisar el empalme del cabezal

Refacción: ninguna todavía

Duración: 40 min · Requiere paro: sí

Voy en camino

No puedo

Ya está

07:12

Voy en camino

07:14 ✓✓

Anotado, Ramírez. El pozo 2 lleva cinco semanas sin operar los jueves de 06:00 a 08:00 — es la mejor ventana de paro.

07:14

Mantenimiento · Zona Pozos

Sentinel, R. Ramírez, J. Cano, +3

▲ **POZO 1 · Nivel dinámico**

El abatimiento a igual caudal creció **11 % en tres semanas**. La capacidad específica del pozo va a la baja.

Ventana: **2 a 6 meses**

Qué hacer: programar rehabilitación; cepillado y tratamiento químico

Requiere paro: sí, 2 días

06:40

Sin acuse de recibo en 15 minutos

Nadie ha tomado el aviso del Pozo 1. **Escalando a J. Cano**, guardia de esta semana.

06:55

perdón, estaba en la torre. yo lo veo

07:02 ✓✓

Anotado, Ramírez. Queda a su nombre y le retiro el aviso a Cano.

07:02

El aviso llega a quien le toca, con acuse y escalamiento.

Si nadie contesta, el aviso escala solo.

Cómo llega y qué pasa si nadie contesta. El aviso lleva la falla, el plazo, la refacción y los botones de acuse. Si nadie lo toma en el plazo definido, escala solo al guardia.

EL CANAL

Sentinel es un contacto. Todo pasa por ahí.



Sentinel es un contacto. Todo pasa por ahí: la planta entra, las personas reciben. WhatsApp es una marca de Meta Platforms, Inc.

**Sentinel 3D**
en línea



✓ **BOMBA 3 · Mantenimiento del jueves**

Le recomiendo **cancelarlo**. La firma de vibración del rodamiento lado acople está igual que hace ocho meses y la temperatura no se movió.

Ahorra: 4 horas de cuadrilla y un rodamiento de almacén

Riesgo de posponer: ninguno detectable hoy

Si prefiere abrirla de todas formas, le dejo el registro por si aparece algo.

08:03

cancelélo

08:11 ✓ ✓

Hecho. Vuelvo a proponerlo **cuando la vibración cambie**, no por calendario.

08:11

**Mantenimiento · Zona Pozos**
Sentinel, R. Ramírez, J. Cano, +3



▲ **PERDÍ CONTACTO CON EL POZO 3**

Hace **20 minutos** que dejó de reportar. **No es una falla del pozo: es el sistema el que se calló.**

Última lectura: 06:12, todo normal

Revisar: energía del tablero y enlace de radio

3DDD Vision ya está avisado.

06:32

se fue la luz en toda la zona

06:40 ✓ ✓

Entendido. El equipo guarda **hasta 30 días** en su tarjeta: cuando vuelva la energía se sincroniza solo y **no se pierde ni un dato.**

06:40

También dice qué no hacer.

El silencio también es una alarma.

Quitar trabajo también es trabajo. Cancela el preventivo cuando el equipo está sano — y si el propio sistema se queda mudo, lo dice.

**Sentinel 3D**
en línea



producción dice que la línea 3 paró por nuestra culpa

11:18 ✓ ✓

Paró **seis veces** esta semana, **41 minutos** en total:

- 4 por falta de producto aguas arriba — **12 min**
- 1 por atasco en el transporte — **6 min**
- 1 por el motor de la bomba 2 — **23 min**

Mantenimiento explica **23 de los 41 minutos**, y ese aviso salió el 21 de julio, con tres semanas de anticipación.

11:18

**Descargo · Línea 3 · Semana 32**

2 páginas · con hora y causa de cada paro

Va con la bitácora de cada paro. ¿Se lo mando a producción o prefiere revisarlo antes?

11:19

antes

11:20 ✓ ✓

El descargo sale cuando el jefe lo pide, nunca solo.

Cuando producción reclama. El desglose de cada paro con su hora y su causa — y sale solo si el responsable lo pide.

Tres componentes. Solo lectura.



1

Instrumentación

- Caudal: medidor externo de abrazadera, sin cortar tubería
- Nivel dinámico con compensación barométrica
- Presión de descarga y vibración de tubería
- Visión térmica continua del tablero



2

Procesador del Equipo

- Se instala junto al tablero existente; lee el variador —si expone puerto— y los sensores
- Calcula y guarda la historia localmente, a 1 dato por segundo
- Autónomo: sigue operando si se cae la comunicación
- Interruptor propio: no puede afectar a su equipo



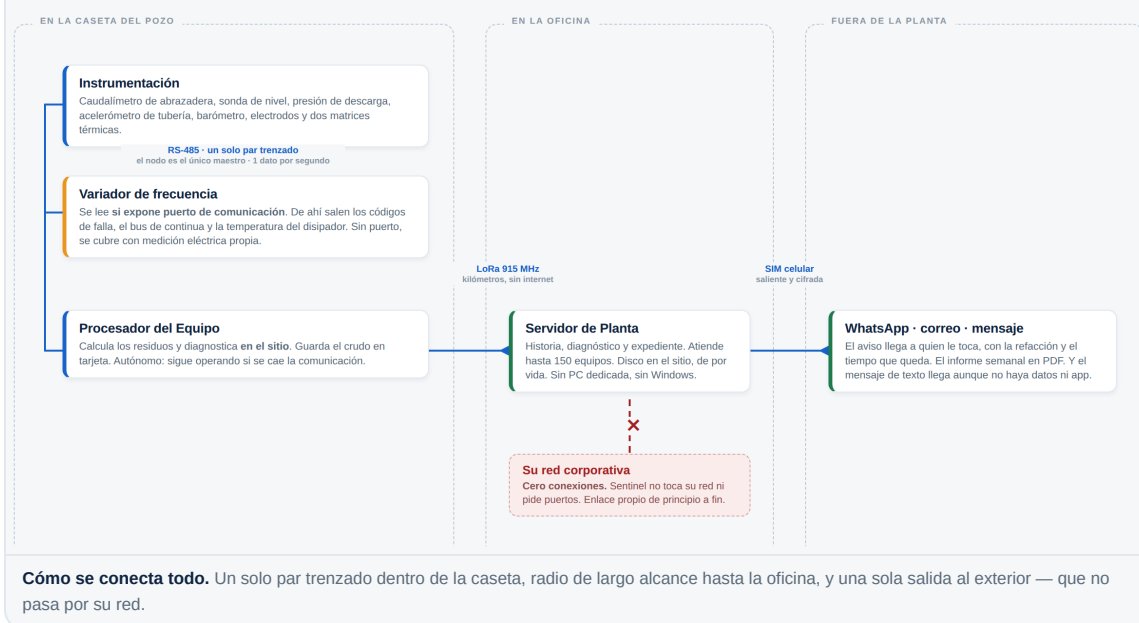
3

Servidor de Planta

- Recibe por radio de largo alcance; kilómetros, sin internet
- Atiende hasta 150 equipos
- Sin PC dedicada, sin Windows, sin antivirus
- No se conecta a su red: enlace propio, saliente y cifrado
- Disco en el sitio, de por vida: su historia vive aquí y la nube es solo respaldo

TOPOLOGÍA

Un solo bus adentro, un solo enlace afuera.



La instalación no perfora, no suelda y no detiene el proceso. El sistema observa el equipo; no lo controla.

Qué se vigila, con qué señal, con cuánta anticipación.

Lo que este anexo supone. Treinta y cuatro de las 138 condiciones se apoyan en leer el variador por su puerto serie: el grupo completo de red eléctrica, los disparos, la energía y el factor de potencia. **Si el equipo no tiene variador, o el que tiene no expone puerto de comunicación, esas 34 no operan.** En ese caso se instala medición eléctrica propia —toroides de fase y residual, y tensión en la acometida del tablero— y **24 de las 34 se recuperan con medida directa**, sin depender de nadie. Las diez restantes —códigos de falla, bus de continua, temperatura del disipador, contadores internos y la firma de corriente— no tienen sustituto en esta etapa, y así se declaran.

Confianza: **A** señal directa, física clara — accionable · **M** señal compartida por más de una causa — el sistema indica qué revisar · **B** indicio, no veredicto · **B → A** sube a alta conforme se acumula historia. Los plazos de anticipación son objetivos de diseño; cada confirmación de campo los convierte en estadística del propio sitio.

1 · Pozo y acuífero 12 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
1	Abatimiento progresivo del nivel estático	Tendencia del nivel en reposo tras paros largos, corregida por estacionalidad; el primer año se apoya en piezometría regional	B → A	Meses	Planear reposición o profundización
2	Aumento del abatimiento dinámico a igual caudal	Nivel dinámico contra caudal medido; la relación se degrada	A	2 a 6 meses	Programar rehabilitación
3	Incrustación de la rejilla del pozo	Pérdida creciente entre nivel del acuífero y nivel dentro del ademe, a caudal constante	A	3 a 8 meses	Cepillado y tratamiento químico
4	Colmatación por finos	Abatimiento creciente acompañado de firma de arena en la vibración de tubería	M	2 a 6 meses	Desarrollo del pozo
5	Producción de arena	Vibración de tubería en banda alta con energía persistente, sin correlación con velocidad	M	Semanas	Revisar rejilla y empaque de grava
6	Pérdida de capacidad específica del pozo	Cociente caudal entre abatimiento, seguido a lo largo de meses	A	Meses	Es el indicador maestro de salud del pozo
7	Recuperación lenta tras el paro	Curva de recuperación del nivel comparada con su propia historia	A	Meses	Indica pérdida de transmisividad
8	Interferencia con otro pozo cercano	Abatimiento anómalo coincidente con horarios de otro equipo	M	Semanas	Escalonar horarios de bombeo
9	Riesgo de descebado por nivel bajo	Nivel dinámico acercándose a la sumergencia mínima de la bomba	A	Días a semanas	Reducir caudal o reubicar la bomba
10	Entrada de aire por sumergencia insuficiente	Vibración con firma de mezcla aire-agua y caudal errático	A	Inmediato	Bajar la bomba o limitar el caudal
11	Descenso estacional confundido con falla	Modelo estacional sobre la historia propia; requiere un ciclo anual completo	B → A	—	Evita una intervención innecesaria
12	Fuga en el ademe	Balance entre caudal medido y abatimiento que no cierra	B	Meses	Requiere videoinspección para confirmar

2 · Bomba 17 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
13	Desgaste de impulsores	Caída del caudal a igual velocidad y potencia, con presión también menor	A	3 a 9 meses	Programar extracción y cambio de impulsores
14	Desgaste de anillos de desgaste	Aumento de la recirculación interna: más potencia por unidad de caudal	A	4 a 10 meses	Cambio de anillos en el mismo servicio
15	Obstrucción parcial del impulsor	Caída de caudal con aumento de vibración en la frecuencia de paso de álabes	A	Días a semanas	Extraer e inspeccionar
16	Obstrucción del succionador o coladera	Caudal bajo con abatimiento normal y presión de succión deprimida	A	Días	Limpiar la coladera
17	Cavitación	Vibración de banda ancha aleatoria más caudal errático más ruido de alta frecuencia	A	Inmediato	Reducir caudal o aumentar sumergencia
18	Recirculación de succión a bajo caudal	Vibración a baja frecuencia con la bomba operando lejos de su punto óptimo	A	Semanas	Corregir el punto de operación
19	Operación fuera del punto de mejor eficiencia	Caudal y presión medidos contra la curva H-Q propia, ajustada al equipo durante la línea base; la del fabricante queda como referencia de apoyo	A	Continuo	Ajustar la frecuencia de operación

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
20	Rotura o fisura de álabe	Cambio brusco en la amplitud de la frecuencia de paso de álaves	A	Inmediato	Parar y extraer
21	Desbalance del conjunto rotatorio	Vibración dominante a una vez la velocidad de giro	A	Semanas a meses	Balanceo en el próximo servicio
22	Desalineación del acoplamiento bomba-motor	Vibración a dos veces la velocidad de giro, con componente axial	M	Semanas	Alinear en el próximo servicio
23	Eje flexionado	Vibración a una vez la velocidad con fase estable y componente axial alto	M	Semanas	Revisar eje al extraer
24	Desgaste de bujes de eje	Ruido de fondo creciente en banda media; la columna atenúa esta firma — sujeta a validación en el piloto	B	Meses	Indicio para inspección al extraer, no veredicto
25	Bloqueo del rotor	Corriente en tope con velocidad cero o muy baja	A	Inmediato	Paro y extracción
26	Roce interno rotor-estator hidráulico	Armónicos múltiples de la velocidad de giro; la columna atenúa esta firma — sujeta a validación en el piloto	B	Semanas	Indicio para inspección al extraer, no veredicto
27	Pérdida de eficiencia global de la bomba	Potencia hidráulica medida entre potencia eléctrica medida, seguida en el tiempo	A	Continuo	Es el indicador maestro de la bomba
28	Válvula de retención pegada o con fuga	Caudal negativo medido tras el paro y golpe de ariete visible en la ráfaga de vibración por evento	A	Semanas	Cambio de válvula
29	Golpe de ariete recurrente	Pico de vibración y de presión en cada paro	A	Inmediato	Ajustar rampa de desaceleración del variador

3 • Columna, tubería y descarga 13 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
30	Fuga en la columna de descarga	Caudal medido en superficie menor que el caudal hidráulico calculado por potencia	A	Semanas	Localizar y reparar unión
31	Unión de columna floja	Vibración con impactos periódicos sincronizados con la velocidad de giro	M	Semanas	Reapretar en el próximo servicio
32	Incrustación en la tubería de descarga	Aumento progresivo de la pérdida de carga: más presión para igual caudal	A	Meses	Limpieza química o mecánica
33	Obstrucción parcial de la línea	Caída súbita de caudal con aumento de presión aguas arriba	A	Días	Localizar la obstrucción
34	Resonancia estructural de la tubería	Pico de vibración muy estrecho en una frecuencia fija, independiente de la velocidad	A	Semanas	Añadir soporte o cambiar la frecuencia de operación
35	Soporte de tubería suelto o roto	Aumento general del nivel de vibración sin cambio en la firma hidráulica	M	Semanas	Inspección visual y reapriete
36	Fatiga en soldadura o brida	Vibración creciente en banda media, sostenida durante meses	B	Meses	Inspección no destructiva
37	Aire atrapado en la línea	Caudal pulsante con vibración de baja frecuencia irregular	A	Días	Purgar la línea
38	Válvula de descarga parcialmente cerrada	Presión alta con caudal bajo y potencia menor a la esperada	A	Inmediato	Verificar posición de válvula
39	Válvula de descarga con fuga interna	Caudal registrado con la bomba detenida	A	Inmediato	Cambio o rectificado de válvula
40	Pulsación hidráulica excesiva	Componente de vibración en la frecuencia de paso de álaves por encima de la línea base	M	Semanas	Revisar holgura de impulsores
41	Sedimentación en la línea	Pérdida de carga creciente con firma de arrastre en vibración de alta frecuencia	M	Meses	Purga y limpieza
42	Erosión de la tubería por arena	Vibración de alta frecuencia persistente combinada con producción de arena	B	Meses	Medición de espesor por ultrasonido

4 • Motor sumergible 14 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
43	Sobrecarga sostenida del motor	Corriente por encima de la esperada para la carga hidráulica real	A	Días a semanas	Corregir el punto de operación
44	Desbalance de corriente entre fases	Diferencia entre las tres corrientes por encima de la línea base propia	A	Semanas	Revisar conexiones y alimentación
45	Degradación del aislamiento del devanado	Tendencia de la resistencia de aislamiento, si el elevador de protección la reporta	A	Meses	Programar rebobinado
46	Cambio en la resistencia del estátor	Medición manual: el técnico dispara la adaptación automática del motor con la máquina detenida; el sistema solo lee y sigue la tendencia	A	Meses	Indica degradación de devanado o conexión
47	Cambio en las inductancias del estátor	Misma medición manual, otro parámetro	M	Meses	Indica cortocircuito entre espiras incipiente
48	Barras de rotor rotas o fisuradas	Oscilación al doble de la frecuencia de deslizamiento en la velocidad y el par estimados del variador — el esfuerzo del control por compensar la asimetría la delata. Vía en validación durante el piloto	B – A	Meses	Programar rebobinado o cambio de rotor
49	Excentricidad del entrehierro	Misma vía por velocidad y par estimados; análisis por corriente diferido a etapa 2	B	Meses	Revisar rodamientos y alineación al extraer

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
50	Sobrecalentamiento del motor	Corriente y torque contra caudal, con caudal insuficiente para refrigerar	A	Horas a días	El agua bombeada es el refrigerante del motor
51	Refrigeración insuficiente por bajo caudal	Caudal medido por debajo del mínimo de refrigeración del fabricante	A	Inmediato	Elevar el caudal o parar
52	Falla de fase	Pérdida total de una corriente de fase	A	Inmediato	Paro y revisión eléctrica
53	Arranques excesivos por hora	Conteo de arranques contra el límite del fabricante	A	Continuo	Ajustar la lógica de arranque
54	Corriente de fuga a tierra	Reportada por el relevador de protección, si existe	A	Días	Indica aislamiento comprometido
55	Pérdida de eficiencia del motor	Potencia mecánica estimada entre potencia eléctrica medida	M	Meses	Se separa de la pérdida de la bomba usando el caudal medido
56	Cable de bajada dañado	Desbalance de corriente que no corresponde a desbalance de voltaje	M	Semanas	Prueba de aislamiento al extraer

5 · Variador de frecuencia 17 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
57	Degradación de los capacitores del bus de continua	Rizo del bus de continua contra su propia línea base	A	6 a 18 meses	Programar cambio de capacitores
58	Sobretemperatura del disipador	Temperatura interna del variador contra temperatura ambiente y carga	A	Días	Limpiar disipador y revisar ventilación
59	Ventilador del variador degradado	Aumento de la temperatura del disipador a igual carga y ambiente	A	Semanas	Cambio de ventilador
60	Filtro de aire del tablero saturado	Temperatura interior creciente con exterior estable	A	Semanas	Cambio de filtro
61	Disparo por sobrecorriente	Código de falla del variador, con las variables de los segundos previos	A	Inmediato	El sistema guarda el contexto del disparo
62	Disparo por sobrevoltaje del bus	Código de falla más rizo del bus en el instante	A	Inmediato	Suele indicar rampa de paro demasiado rápida
63	Disparo por subvoltaje	Código de falla más voltaje de línea en el instante	A	Inmediato	Problema de alimentación, no del variador
64	Disparo por falla a tierra	Código de falla del variador	A	Inmediato	Revisar cable de bajada y motor
65	Disparo térmico del motor	Código de falla más historia térmica calculada	A	Inmediato	Revisar carga y refrigeración
66	Limitación de corriente activa	El variador reduce frecuencia para no exceder corriente	A	Continuo	Síntoma de sobrecarga hidráulica
67	Micro-paros no registrados	Detección de paros y rearranques de segundos, que nadie anota	A	Continuo	Revelan problemas de alimentación o de lógica
68	Paros por causa desconocida	Correlación del paro con todas las variables del segundo anterior	A	Inmediato	Convierte un misterio recurrente en una causa
69	Desgaste de contactores de línea	Conteo de maniobras contra vida útil del fabricante	A	Meses	Cambio programado
70	Horas de operación acumuladas	Contador propio del variador	A	Continuo	Base para mantenimiento por horas
71	Sobrecarga térmica acumulada	Integral del exceso de corriente sobre el tiempo	A	Continuo	Predice el envejecimiento del aislamiento
72	Derating por temperatura ambiente	Temperatura del tablero contra la curva de reducción de capacidad	A	Continuo	Explica pérdidas de capacidad en verano
73	Parámetros del variador modificados	Comparación de la configuración leída contra la registrada	A	Inmediato	Detecta cambios no documentados

6 · Alimentación y red eléctrica 11 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
74	Desbalance de voltaje entre fases	Comparación de las tres tensiones de línea	A	Continuo	Un 2 % de desbalance calienta el motor un 15 %
75	Subvoltaje sostenido	Tensión de línea por debajo del rango, con duración	A	Continuo	Evidencia para la compañía suministradora
76	Sobrevoltaje sostenido	Tensión por encima del rango	A	Continuo	Acorta la vida de los capacitores del bus
77	Huecos de tensión momentáneos	Caída breve de tensión con marca de tiempo	A	Inmediato	Explica micro-paros inexplicados
78	Interrupciones de suministro	Pérdida total con fecha, hora y duración	A	Inmediato	Registro que nadie más lleva
79	Fluctuación de frecuencia de red	Frecuencia de línea leída del variador	M	Continuo	Poco frecuente pero destructivo
80	Distorsión armónica en la línea	Contenido armónico reportado por el variador	M	Meses	Causa calentamiento en transformadores y cables
81	Factor de potencia degradado	Factor de potencia medido contra el esperado para la carga	A	Meses	Impacta directamente la factura eléctrica
82	Penalización por demanda	Perfil de demanda contra la estructura tarifaria	A	Mensual	Sugiere reprogramar horarios de bombeo
83	Consumo en horario punta	Energía consumida clasificada por franja horaria	A	Mensual	Oportunidad de ahorro sin tocar el equipo
84	Conexión floja en la acometida	Desbalance de voltaje que varía con la carga	M	Semanas	Riesgo de falla térmica en la conexión

7 · Tablero y componentes eléctricos 11 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
85	Temperatura interior excesiva del tablero	Sensor interior contra sensor exterior y contra la carga	A	Días	Revisar ventilación y filtros
86	Humedad excesiva dentro del tablero	Sensor de humedad interior	A	Semanas	Riesgo de condensación y corrosión
87	Condensación	Cruce de temperatura y humedad contra el punto de rocío calculado	A	Días	Instalar resistencia de calefacción
88	Sello o empaque del gabinete degradado	Humedad interior que sigue a la exterior sin retraso	M	Meses	Cambio de empaque
89	Ventilación obstruida	Gradiente interior-exterior creciente a igual carga	A	Semanas	Limpieza de rejillas
90	Falla de la resistencia anticondensación	Temperatura interior que no sube cuando debería	M	Semanas	Cambio de resistencia
91	Apertura no programada del tablero	Sensor magnético de puerta, con fecha y hora	A	Inmediato	Trazabilidad de intervenciones
92	Intervención no documentada	Apertura de puerta seguida de un cambio en el comportamiento	A	Inmediato	Correlaciona causa y efecto
93	Punto caliente en borne o barra	Imagen térmica continua: elevación de temperatura contra la corriente medida; el borne que se aparta de sus hermanos a igual carga	A	Semanas	Reapretar la conexión señalada antes de la falla térmica
94	Contactador con resistencia de contacto creciente	Tendencia térmica del contactor a igual carga, más el conteo de maniobras	A	Semanas a meses	Cambio de contactor programado
95	Degradación de protecciones magnetotérmicas	Conteo de disparos y de maniobras	M	Meses	Cambio programado

8 · Instrumentación y calidad del dato 15 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
96	Deriva de la sonda de nivel	Contraste contra los dos electrodos de profundidad fija y contra el barómetro de superficie	A	Semanas	Se autocorrigie; avisa cuando ya no puede — y declara los periodos en que el agua no cruzó ningún electrodo
97	Barómetro de superficie fuera de servicio	Lectura fuera de rango físico o deriva contra la meteorología regional	A	Inmediato	La compensación pasa a modo degradado declarado; cambio del barómetro
98	Sonda de nivel fuera de servicio	Lectura fuera del rango eléctrico válido	A	Inmediato	Cambio de sonda
99	Caudalímetro con señal débil	Calidad de señal reportada por el propio instrumento, contra su línea base de instalación	A	Días	Revisar acoplamiento de transductores
100	Transductor de caudal desacoplado	Caída brusca de la calidad de señal	A	Inmediato	Reaplicar acoplante y reapretar
101	Caudalímetro mal parametrizado	Caudal medido que no cierra con el balance hidráulico	A	Inmediato	Verificar espesor de pared capturado
102	Tubería parcialmente vacía en el punto de medición	Calidad de señal errática con caudal inestable	A	Inmediato	Reubicar el punto de medición
103	Acelerómetro suelto o desprendido	Colapso del nivel de vibración en todas las bandas	A	Inmediato	Reapretar la base
104	Acelerómetro saturado	Recorte de la señal en el pico	A	Inmediato	Revisar montaje o cambiar rango
105	Transmisor de presión derivando	Contraste contra la presión calculada por nivel y caudal	M	Meses	Recalibrar o cambiar
106	Lazo de 4-20 mA abierto	Corriente por debajo de 3.6 mA	A	Inmediato	Revisar cableado
107	Lazo de 4-20 mA en corto	Corriente por encima de 21 mA	A	Inmediato	Revisar cableado
108	Sensor de temperatura fuera de servicio	Lectura fuera de rango físico	A	Inmediato	Cambio de sensor
109	Errores de comunicación en el bus	Contador de errores de verificación creciente	A	Días	Revisar terminación, malla y cable
110	Esclavo Modbus sin responder	Ausencia de respuesta en el sondeo	A	Inmediato	Identifica exactamente qué instrumento falló

9 · Operación y régimen de trabajo 8 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
111	Bombeo contra válvula estrangulada	Presión alta con caudal bajo	A	Inmediato	Es energía tirada en forma de calor
112	Marcha en vacío	Potencia baja con caudal nulo o casi nulo	A	Inmediato	Riesgo grave para el motor sumergible
113	Ciclo corto por tanque mal dimensionado	Patrón repetitivo de arranque y paro con periodo breve	A	Continuo	Ampliar tanque o ajustar histéresis
114	Rampa de aceleración demasiado agresiva	Pico de corriente en cada arranque contra la línea base	A	Continuo	Ajuste de parámetro en el variador
115	Rampa de desaceleración demasiado agresiva	Golpe de ariete en cada paro, visible en presión y vibración	A	Continuo	Ajuste de parámetro en el variador

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
116	Operación prolongada a frecuencia mínima	Histograma de frecuencia de operación	A	Continuo	Refrigeración insuficiente del motor
117	Operación por encima de la frecuencia nominal	Frecuencia por encima de 60 Hz sostenida	A	Continuo	Sobrecarga mecánica del conjunto
118	Desaprovechamiento de capacidad	Horas de paro con demanda de agua pendiente	M	Mensual	Replanteo del régimen de operación

10 · Eficiencia y costo de operación 10 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
119	Aumento del costo por metro cúbico	Energía medida entre volumen medido, seguido en el tiempo	A	Continuo	Es el indicador maestro del sistema
120	Caída de la eficiencia global del conjunto	Potencia hidráulica entre potencia eléctrica, ambas medidas	A	Continuo	Separa degradación de bomba, motor y pozo
121	Pérdida atribuible a la bomba	Cruce de caudal, presión y velocidad	A	Meses	Dice a cuál de los tres culpar
122	Pérdida atribuible al motor	Potencia eléctrica contra potencia mecánica estimada	M	Meses	Idem
123	Pérdida atribuible al pozo	Abatimiento creciente a igual caudal	A	Meses	Idem
124	Volumen total extraído	Integración del caudal medido	A	Continuo	Base para reporte regulatorio y balance de agua
125	Diferencia contra el volumen concesionado	Volumen acumulado contra el límite del título	A	Mensual	Evita sanciones
126	Punto de rentabilidad de la rehabilitación	Costo acumulado del exceso energético contra costo de intervenir	A	Meses	Convierte una decisión de criterio en una de números
127	Ahorro obtenido tras una intervención	Costo por metro cúbico antes y después	A	Semanas	Demuestra el retorno de cada mantenimiento
128	Comparación entre pozos	Costo por metro cúbico de los tres pozos, normalizado por altura de bombeo	M	Continuo	Identifica cuál atender primero

11 · Salud del propio sistema de monitoreo 10 condiciones

#	FALLA O CONDICIÓN	CÓMO LA DETECTA EL SISTEMA	CONF.	ANTICIPACIÓN	ACCIÓN
129	Nodo sin reportar	Ausencia en el sondeo desde la estación	A	Inmediato	Revisar energía y radio del pozo
130	Enlace de radio degradado	Caída de la relación señal a ruido contra la línea base de instalación	A	Días	Revisar antena, conector y obstrucción
131	Memoria del nodo próxima a llenarse	Espacio libre de la tarjeta	A	Meses	Cambio programado de tarjeta
132	Errores de escritura en la tarjeta	Contador de errores del sistema de archivos	A	Semanas	Cambio de tarjeta antes de que falle
133	Reinicio inesperado del nodo	Registro de arranque sin corte de energía asociado	A	Inmediato	Investigación de firmware o alimentación
134	Reloj del nodo desincronizado	Contraste contra la referencia de la estación	A	Días	Corrige la marca de tiempo de la historia
135	Estación sin recibir de ningún nodo	Silencio total en el canal	A	Inmediato	Falla de la radio de la estación
136	Línea celular sin servicio	Fallo al enviar el mensaje de prueba periódico	A	Días	Las alarmas por mensaje no saldrán
137	Actualización de firmware fallida	La imagen nueva no confirmó su buen estado y se revirtió sola	A	Inmediato	El monitoreo nunca se detuvo
138	Hueco en la cobertura	Periodo en que una señal no estuvo disponible	A	Inmediato	Se muestra explícitamente; no se disimula

Lo que el sistema NO ve declarado de forma permanente en el panel

CONDICIÓN	POR QUÉ NO SE CUBRE	QUÉ HARÍA FALTA
Estado interno visual del pozo	Ninguna señal eléctrica ni vibratoria lo revela	Videoinspección con cámara de pozo
Calidad química del agua	Fuera del alcance de la instrumentación instalada	Análisis de laboratorio o sonda multiparamétrica
Espesor real de la tubería	La vibración da indicios de erosión, no medida	Medición ultrasónica de espesor
Rodamientos del motor y de la bomba sumergidos	Sus frecuencias características son altas y llegan muertas a la superficie; 90 m de columna con una junta cada 6 m actúan como filtro. Por corriente, el control vectorial suprime la modulación	Confirmación solo al extraer. Los bujes y el roce interno quedan en el catálogo como indicio B, nunca como veredicto
Firma eléctrica por corriente (método clásico MCSA)	Doblemente bloqueada: el modo de control del variador está por confirmar y la cadena de adquisición de corriente cruda se difirió a etapa 2	En el piloto la falla de rotor se persigue por la oscilación en la velocidad y el par estimados — ver nota
Fugas en la red de distribución aguas abajo	El sistema mide en la descarga del pozo, no en la red	Caudalímetros adicionales en la red
Fallas mecánicas súbitas sin precursor	Un impacto externo o un defecto de fabricación no tiene historia previa	Nada. Ninguna tecnología predice lo que no se anuncia

CONDICIÓN	POR QUÉ NO SE CUBRE	QUÉ HARÍA FALTA
Errores de operación manual no registrados	Si alguien opera fuera del variador, el sistema ve el efecto pero no la causa	Registro de intervenciones. El sensor de puerta ayuda

Además de las fallas, el sistema entrega:

- Estrategias de operación**
Pozos que comparten acuífero: escalonar horarios, repartir caudales por costo por m³, priorizar rehabilitación con números.
- Micro-paros**
Cada alarma, paro y re arranque queda registrado con fecha, hora y las variables del segundo anterior — sin depender de bitácoras manuales.
- Calibraciones inadecuadas**
Ajustes que cuestan energía y desgaste sin que nada esté roto: el sistema compara la operación real contra la física y señala el ajuste.
- Costo real de operación**
Horas, arranques, demanda máxima, factor de potencia y energía por m³ — por equipo. Permite repartir carga por costo y programar rutinas por uso.