



III EDICIÓN CONGRESO DE  
**REDES INTELIGENTES**  
IV WEBINAR 16 DE SEPTIEMBRE 2025 - FUTURED

Congreso organizado  
por:



Patrocinado  
por:



gridspertise

SIEMENS

## **MICRORREDES HÍBRIDAS: FORTALEZAS, RETOS Y SOLUCIONES BASADAS EN CONTROLES DISTRIBUIDOS Y COMUNICACIONES WI-SUN**

- Ponente(s) / organización(es)
  - **Jose Vicente Rocamonde Navarro / ITE**
- Autor(es) / organización(es)
  - *Daniel Valero Beltrá / ITE*
  - *José Sánchez Carrasco / ITE*
  - *Pablo Lizondo Requeni / ITE*
  - *Juan Carlos Ferrándiz Pardo / ITE*
  - *Jose Vicente Rocamonde Navarro / ITE*



| Estructura       | Fortalezas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Retos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Red Convencional | <ul style="list-style-type: none"><li>- Existen <b>normas y regulaciones establecidas</b> para la operación de la red.</li><li>- <b>Menor impacto económico</b> ya que se reducen los costes adicionales de los convertidores de potencia y los sistemas de gestión y control de la energía.</li></ul>                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>- Durante <b>los blackouts se ven afectadas grandes zonas de la red</b> y se generan inestabilidades que pueden generar apagones en cascada.</li><li>- <b>Procedimientos complejos de black-start.</b></li><li>- <b>Mayor coste para abastecer zonas remotas.</b></li></ul>                                                                                                             |
| Microrred        | <ul style="list-style-type: none"><li>- Permite <b>aislarse de la red y operar en isla</b> aumentando la fiabilidad y resiliencia de la red.</li><li>- Permite su <b>aplicación en zonas remotas</b> al contar con generación distribuida.</li><li>- Permite prestar <b>servicios a la red general de apoyo a la estabilidad</b> de la tensión y la frecuencia.</li><li>- <b>Mayor velocidad de reabastecimiento</b> en caso de <i>blackouts</i></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Mayores <b>costes y complejidad en las protecciones de la red.</b></li><li>- <b>Necesidad de una gran capacidad de generación y almacenamiento</b> para operar durante caídas de la red principal.</li><li>- <b>Mayor coste</b> debido a los convertidores electrónicos de potencia y sistemas de control.</li><li>- <b>Normas y regulaciones en proceso</b> de definición.</li></ul> |

# TIPOLOGÍAS DE MICRORREDES

|                                       |   | Microrred AC                                                                             | Microrred DC                                                                 | Microrred Híbrida                                                                                                            |
|---------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Integración de generación distribuida | ➔ | Compleja. Requiere mayor número de conversiones energéticas.                             | Menor número de convertidores de potencia necesarios.                        | Facilita la integración mediante las subredes de DC y <b>reduce el número de conversiones DC-AC</b>                          |
| Coste de implementación               | ➔ | Coste reducido en elementos de la red, pero convertidores más caros                      | Los convertidores de potencia son más económicos                             | <b>Permite optimizar los costes</b> al reducir los convertidores necesarios DC-AC                                            |
| Control de la red                     | ➔ | Complejo. Requiere el control de varias variables como voltaje y frecuencia              | Solo requiere el control de la tensión del bus de DC                         | Permite simplificar el control al incorporar subredes en DC, pero el control de AC es más complejo.                          |
| Escalabilidad                         | ➔ | Un aumento de los puntos de generación supone un mayor coste en conversiones energéticas | Fácilmente escalable. Requiere menor número de convertidores de potencia.    | <b>Altamente escalable</b> al permitir optimizar las subredes DC para incorporar nuevos recursos sin afectar a la subred AC. |
| Calidad de suministro                 | ➔ | Susceptible a problemas debido a desequilibrios de voltaje y frecuencia.                 | Buena calidad de suministro dado que solo requiere tensión estable en el bus | Permite optimizar la subred AC dando <b>soporte desde la subred DC</b>                                                       |

# RETOS DE IMPLEMENTACIÓN DE MICRO-REDES

**Altos costes de inversión, mantenimiento e I+D** (convertidores, protecciones DC, sistemas avanzados de gestión) agravados por el bajo volumen de mercado actual.

## ECONÓMICOS

## CONTROL Y OPERACIÓN

Gestión compleja de múltiples fuentes, cargas y convertidores; se requiere un **control robusto y coordinado** que optimice el funcionamiento global.

Doble esquema (AC y DC): en AC retos de **sincronización, bidireccionalidad y desequilibrios**; en DC falta de dispositivos, ausencia de cruce por cero y problemas de puesta a tierra.

## PROTECCIONES

## REGULACIÓN Y ESTÁNDARES

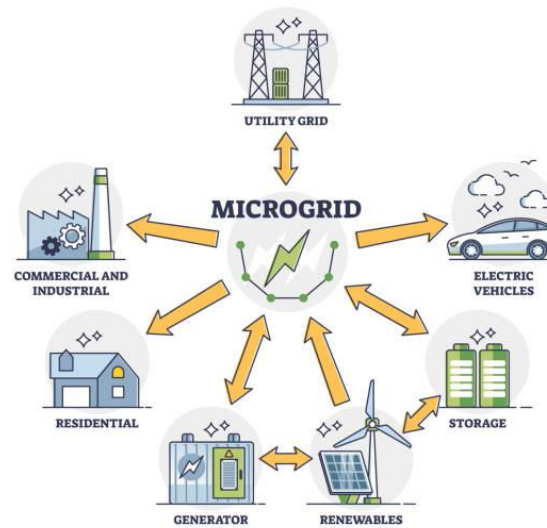
**Falta de normativa específica** y homogénea (pocas referencias como IEEE 1547 o IEEE 2030.7). Vacíos legales, especialmente en DC.

Desequilibrios, armónicos y fluctuaciones por cargas y generación no lineales; **necesidad de filtrado y convertidores AC/DC con funciones de compensación**.

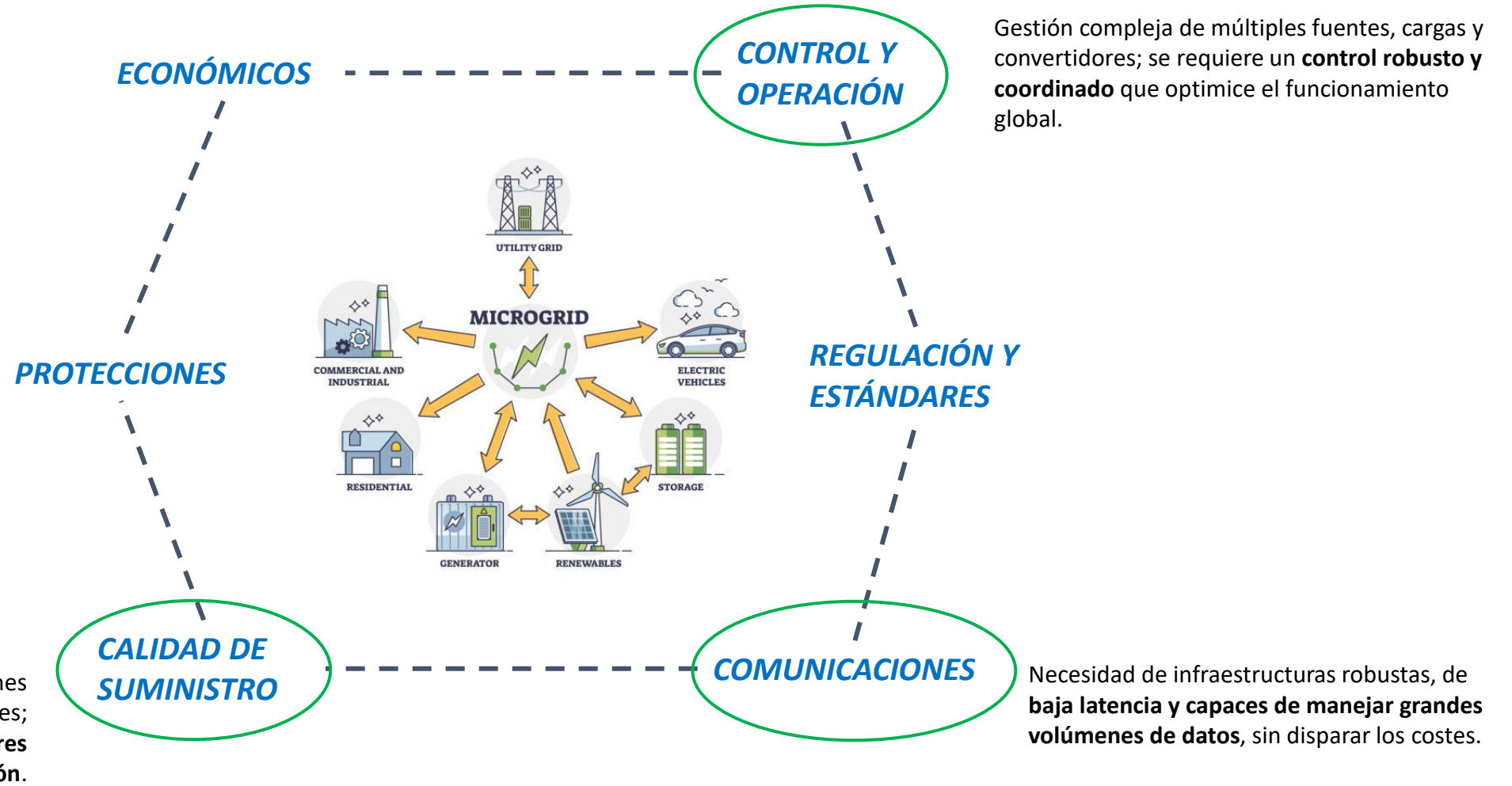
## CALIDAD DE SUMINISTRO

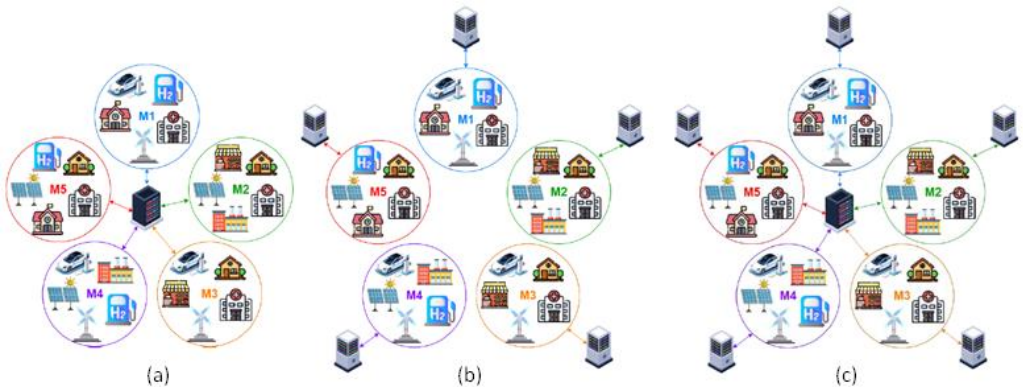
## COMUNICACIONES

Necesidad de infraestructuras robustas, de **baja latencia y capaces de manejar grandes volúmenes de datos**, sin disparar los costes.



# RETOS DE IMPLEMENTACIÓN DE MICRO-REDES





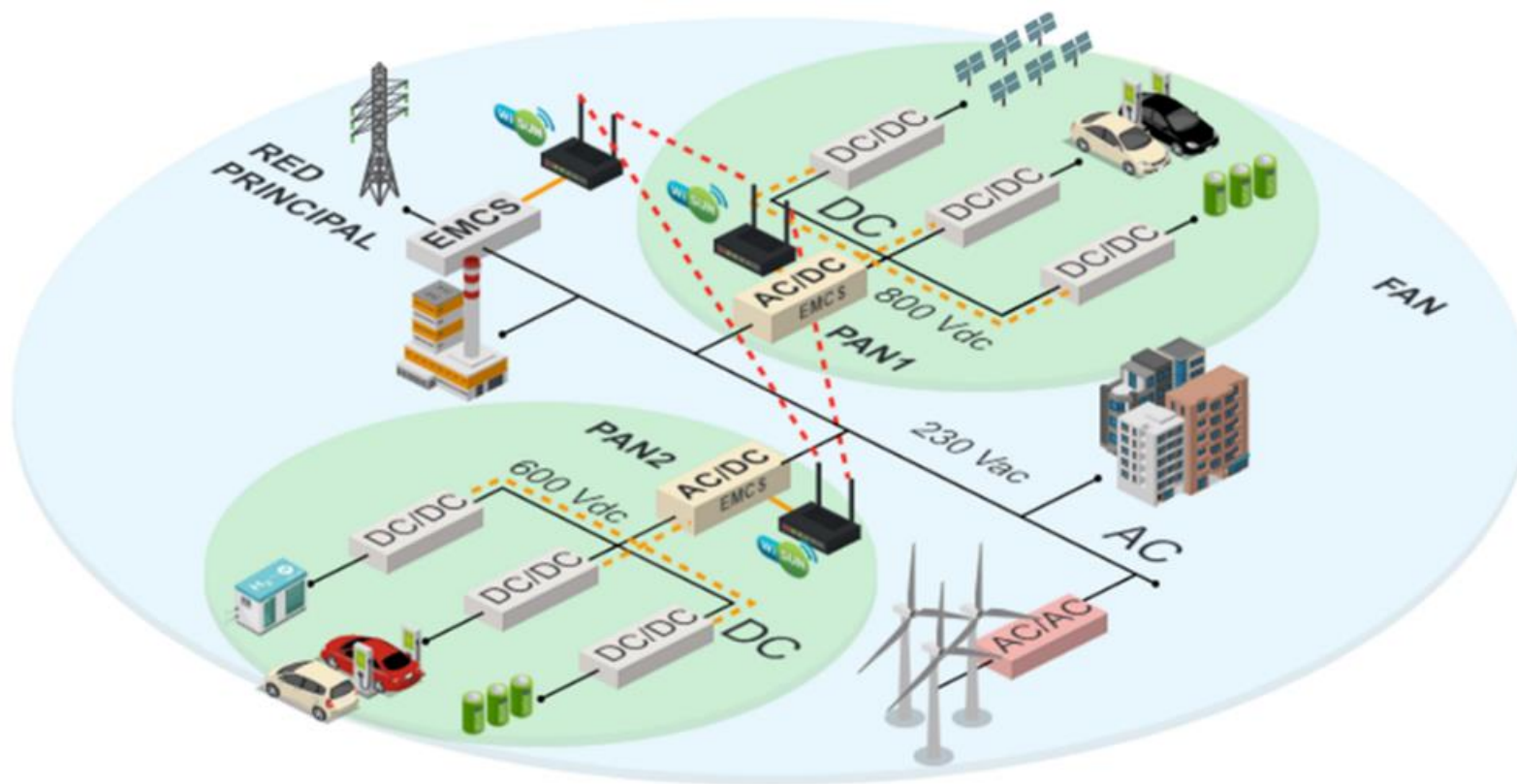
| Estructura      | Fortalezas                                                                                                                                                                                                                                                             | Debilidades                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Centralizada    | <ul style="list-style-type: none"><li>- Reducción de costes de explotación</li><li>- Fácil estandarización e implementación</li><li>- Alta fiabilidad en funcionamiento en isla</li></ul>                                                                              | <ul style="list-style-type: none"><li>- Dependencia del controlador central</li><li>- Gran carga computacional</li><li>- Sensible a fallos puntuales</li><li>- Funcionalidad plug-and-play débil</li></ul>                                 |
| Descentralizada | <ul style="list-style-type: none"><li>- Gran funcionalidad plug-and-play</li><li>- Alta eficiencia de cálculo</li><li>- Alta tolerancia a los errores de comunicación</li></ul>                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"><li>- Alto coste de funcionamiento</li><li>- Baja operatividad en modo aislado</li><li>- Comunicación punto a punto (P2P) costosa</li></ul>                                                              |
| Distribuidas    | <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Alta flexibilidad plug-and-play</b></li><li>- Coste de funcionamiento bajo</li><li>- <b>Reducción de la carga de comunicación</b> y cálculo del controlador central</li><li>- <b>Alta redundancia</b> del sistema</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Si el controlador central se ve comprometido, las microrredes funcionarán de <b>forma independiente sin coordinación.</b></li><li>- <b>Gran dependencia de las redes de comunicación</b></li></ul> |

- Diferentes PAN (Personal Area Network) constituidas por nodos interconectados por una red mallada
- Diferentes PAN pueden interconectarse mediante un *gateway core*, generando una FAN (Field Area Network)
- Diferentes routers que gestionan las PAN son capaces de generar una red mallada con capacidad de realizar transmisiones multisalto entre nodos y bidireccional
- Alta robustez y capacidad de escalabilidad
- La red se reorganiza de una forma óptima en caso de existir obstáculos en la transmisión de la señal

| Tecnología | Espectro         | Velocidad transmisión | Latencia  | Rango      | Coste inicial |
|------------|------------------|-----------------------|-----------|------------|---------------|
| 4G         | 2-8 GHz          | 10-100 Mbps           | ~100 ms   | 3-12 km    | Elevado       |
| ZigBee     | 2.4 GHz, 868 MHz | <250 kbps             | 15-100 ms | 100-1500 m | Bajo          |
| Wi-Fi      | 2.4 GHz          | <54 Mbps              | 30-80 ms  | 100-300 m  | Moderado      |
| Bluetooth  | 2.4 GHz          | <24 Mbps              | >100 ms   | 100 m      | Bajo          |
| Wi-SUN     | 868 MHz          | 0.1 - 2 Mbps          | 20-100 ms | < 4km      | Bajo          |



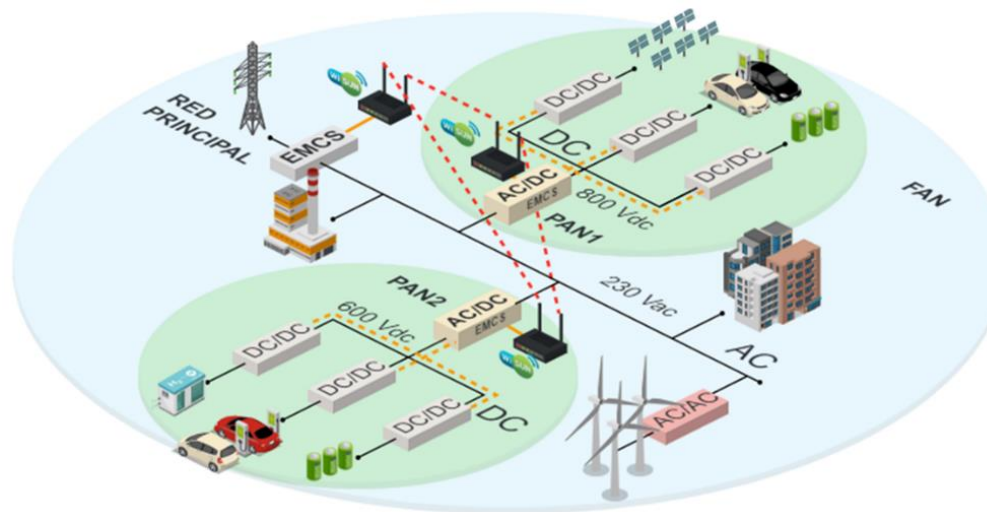
# CONCLUSIONES



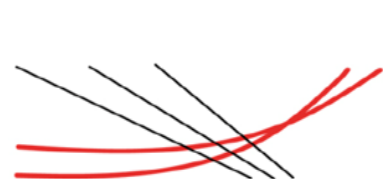
**ARQUITECTURA DE MICRO-RED HÍBRIDA CON CONTROL DISTRIBUIDO**

- Segmentos DC interconectados mediante convertidores AC/DC bidireccionales.
- Convertidores con funcionalidades avanzadas: grid-forming, apoyo a red AC, black-start eficiente.
- PAN de comunicaciones en cada subred DC con tecnología Wi-SUN.
- EMCS local que coordina activos de cada subred DC.
- EMCS central que integra la información en una FAN bidireccional y define pautas de operación.
- En modo isla, el EMCS central coordina los convertidores AC/DC para generar y mantener la onda de red.

# CONCLUSIONES



- **Reducción de costes de cableado:** Wi-SUN evita despliegues extensivos de fibra o medio guiado, manteniendo bajo CAPEX.
- **Escalabilidad económica:** la arquitectura mallada permite añadir nuevos nodos o subredes DC sin grandes inversiones adicionales.
- **Alta fiabilidad y resiliencia:** la red se reconfigura automáticamente en caso de fallos u obstáculos, mejorando la continuidad del servicio.
- **Optimización operativa:** EMCS locales y central coordinados vía Wi-SUN permiten un control distribuido más eficiente y menos costoso.
- **Respaldo a la red AC:** los convertidores bidireccionales grid-forming, coordinados por comunicaciones fiables, aportan soporte de tensión, frecuencia y black-start.
- **Viabilidad en entornos remotos:** Wi-SUN ofrece bajo consumo y largo alcance, clave para microrredes rurales o aisladas con limitaciones de infraestructura.



III EDICIÓN CONGRESO DE

**REDES INTELIGENTES**

IV WEBINAR 16 DE SEPTIEMBRE 2025 - FUTURED

# Gracias por su atención

Congreso organizado  
por:



Patrocinado  
por:



gridspertise

**SIEMENS**