



## SESIÓN 5:

Operación de sistemas de potencia con altas coutas de  
ERV-II- Recomendaciones para superar las restricciones  
técnicas y los desafíos de las ERV-Soluciones

&

Estudios de casos de evaluación de la estabilidad de la red  
y recomendaciones de estos estudios

Grid Integration Team  
IRENA Innovation and Technological Center. Bonn  
October 2020



1. Recomendaciones para superar las limitaciones técnicas y los desafíos de las soluciones ERV:
  - Estrategias operacionales
  - Tecnologías de predicción avanzadas
  - PMU's and Energy management systems
  - Refuerzos en la red
  - DLR para la transmisión de capacidad
  - Interconexiones y entes regionales
  - Inercia sintética
  - Plantas virtuales
  - Dispositivos FACTS y compensadores
  - Arranque en frío– ( Red nacional de Reino Unido)
  - Servicios auxiliares (FFR, PFR,SFR, servicios complementarios BESS, control de tension, arranque en frío)
2. Casos de estudio de evaluación de la estabilidad de la red y recomendaciones de estos estudios

# Recomendaciones para superar las limitaciones técnicas y los desafíos de las soluciones ERV

## Programas de respuesta de la demanda

- Respuesta de la demanda disponible (control directo de la carga, contratos interrumpibles, etc.)
- Tarifas dinámicas de la electricidad (tiempo de uso, precios máximos críticos y precios en tiempo real)

## Estrategias de control y despacho de generación adaptadas

- Inclusión de más generación sincrónica
- Eliminar las limitaciones de funcionamiento obligatorio de los generadores
- Usar restricción de VRE
- Implementar control de generación automático
- Adaptar la configuración de los gobernadores
- Procedimientos de planificación operativa
- Nuevo tipo de reservas operativas

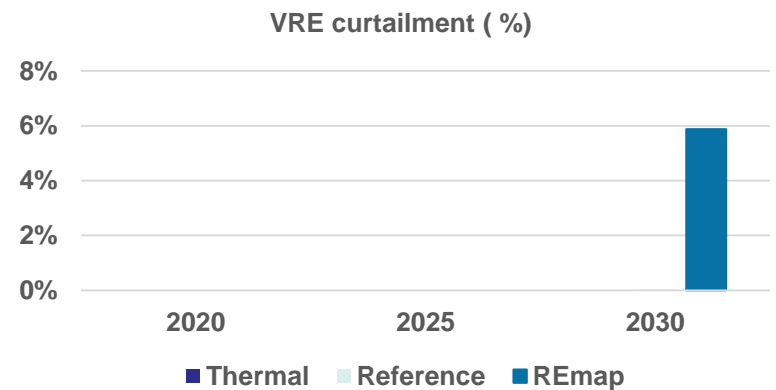
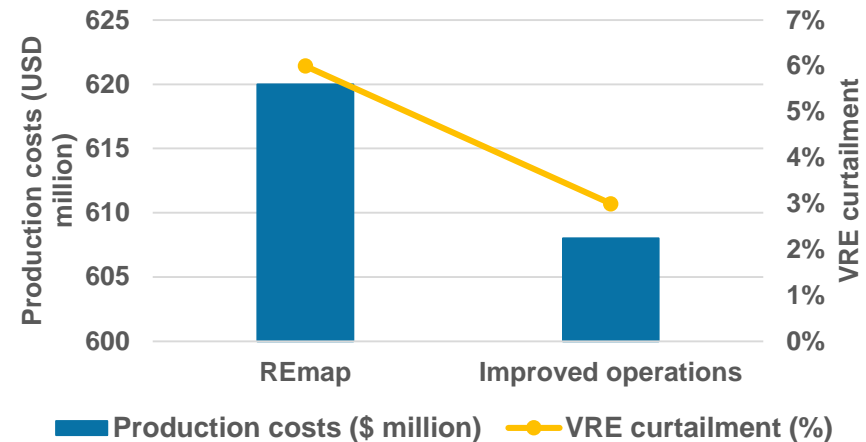
## Planes de defensa adaptados

- Deslastre de carga por baja frecuencia (UFLS)
- Deslastre de carga por sobre / bajo voltaje (OVLS / UVLS)
- Conexión / desconexión automática de equipos de compensación de potencia reactiva
- Instrucciones para la toma de transformadores
- Protección de desfase

# Tecnologías de predicción avanzada

- **Tecnología habilitadora:** tiene en cuenta parametros especificos y datos en tiempo real.
  - Computación basada en la nube, modelos matemáticos mejorados y inteligencia artificial.
  
- **Diseño de mercados:** necesidad de adaptarlos para capturar el beneficio.
  - Con mas frecuencia compromisos y programación de despacho y transmisión.
  - Reduce la necesidades de reservas operativa.
  - Reduce las emisiones y hace un balance activo coste eficiencia del sistema.

## Ejemplo: predicción intradía de ERV en Republica Dominicana



## PMUs

- Dispositivos digitales que proporcionan medidas sincronizadas de tensión y corriente.

- Una única unidad procesa la tensión en un bus + las Corrientes en mas de una línea
- IEEE C37.118-2005 standard define convención del sincrofasor y el proceso de etiquetado de tiempo..

## Energy management systems (EMS)

- Herramientas de colección centralizadas que los operadores de la red utilizan para monitorear, controlar y optimizar el desempeño de la red de generación y / o transmisión

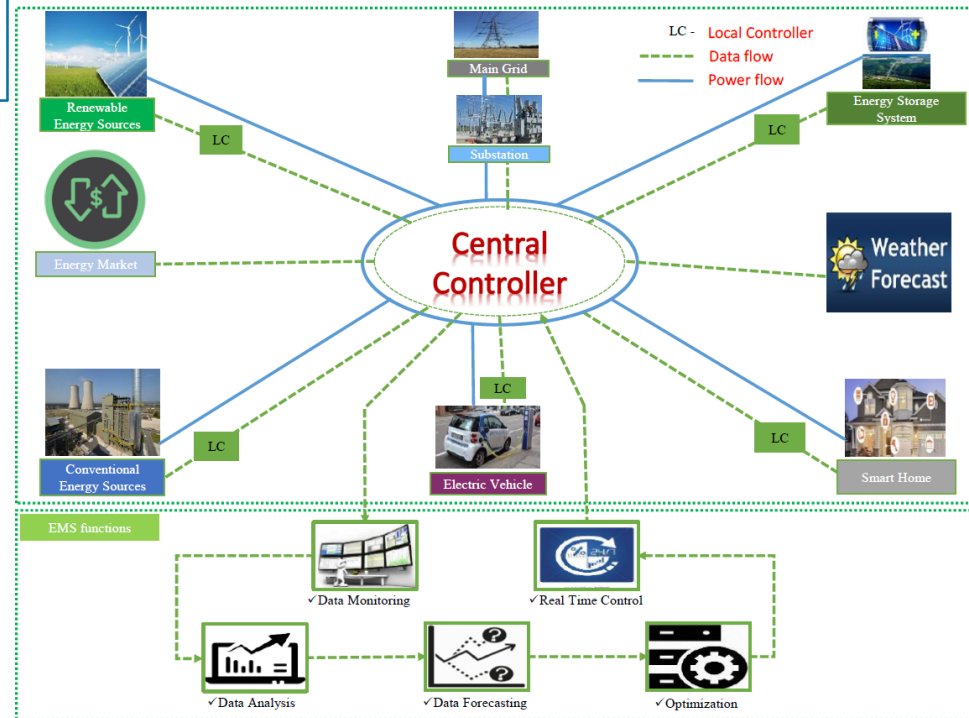
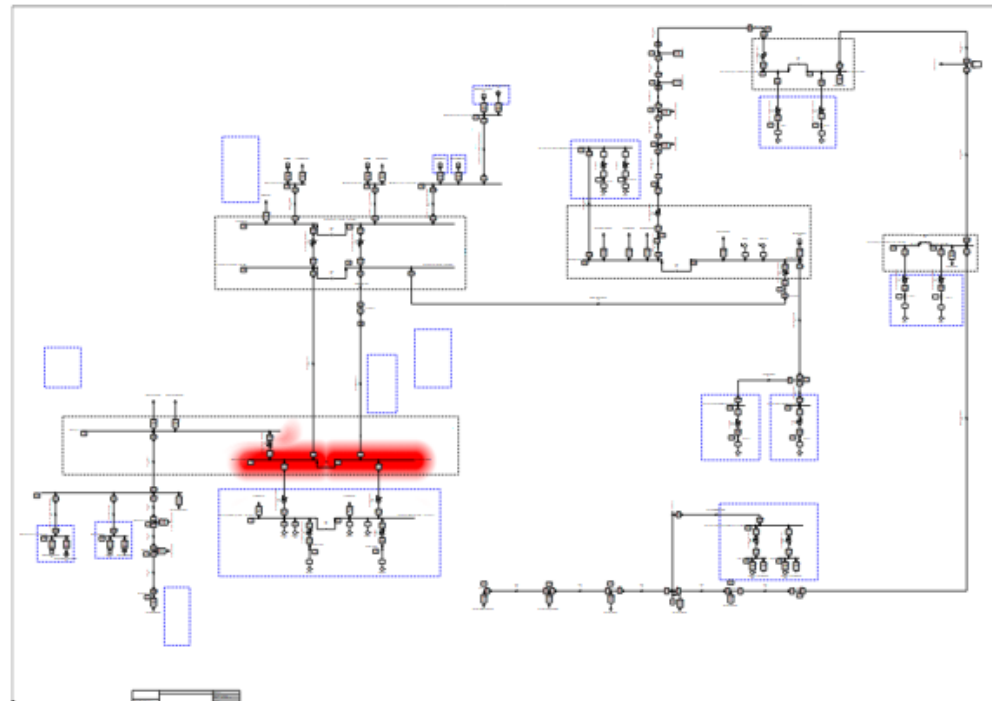


Fig. Energy management system [13]

- International standard: ISO 50001

- El reforzamiento de los sistemas de transmisión suele planificarse cuando se prevé conectar nueva generación, modernizar la existente o un cambio en el patrón de demanda.
- Grandes porcentajes de ERV se localizan cerca de los centros de demanda.
- Provocan sobre/bajas tensiones y sobre/bajas corrientes.

- Require actualizar el ratio del transformador, las líneas, etc. construir líneas en paralelo, instalar dispositivos de compensación, etc.



# DLR para la transmisión de capacidad

- Los flujos de carga en la red existente están cambiando debido al incremento de energías renovables.
- DLR promueve el mayor uso de la existente red incrementando la capacidad de las líneas.



Reduced curtailment of VRE due to avoided grid congestion

Cost-effective generation dispatch

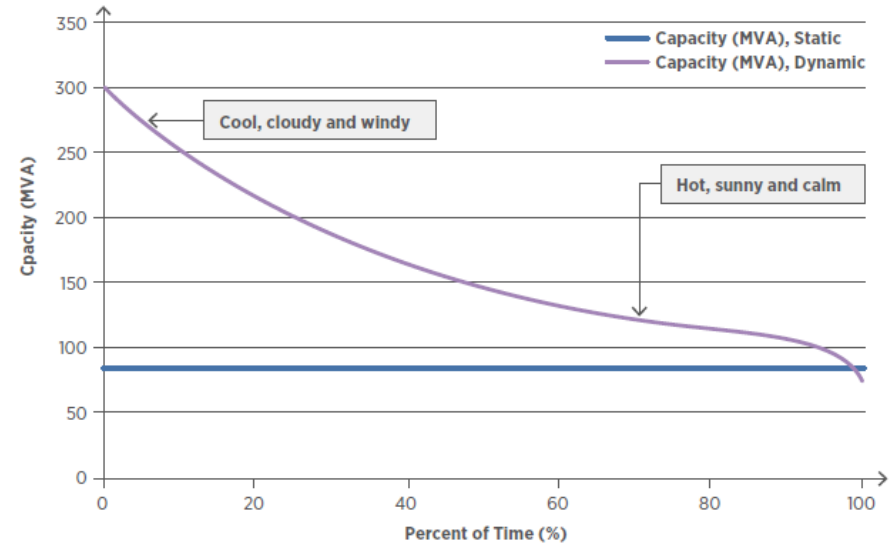


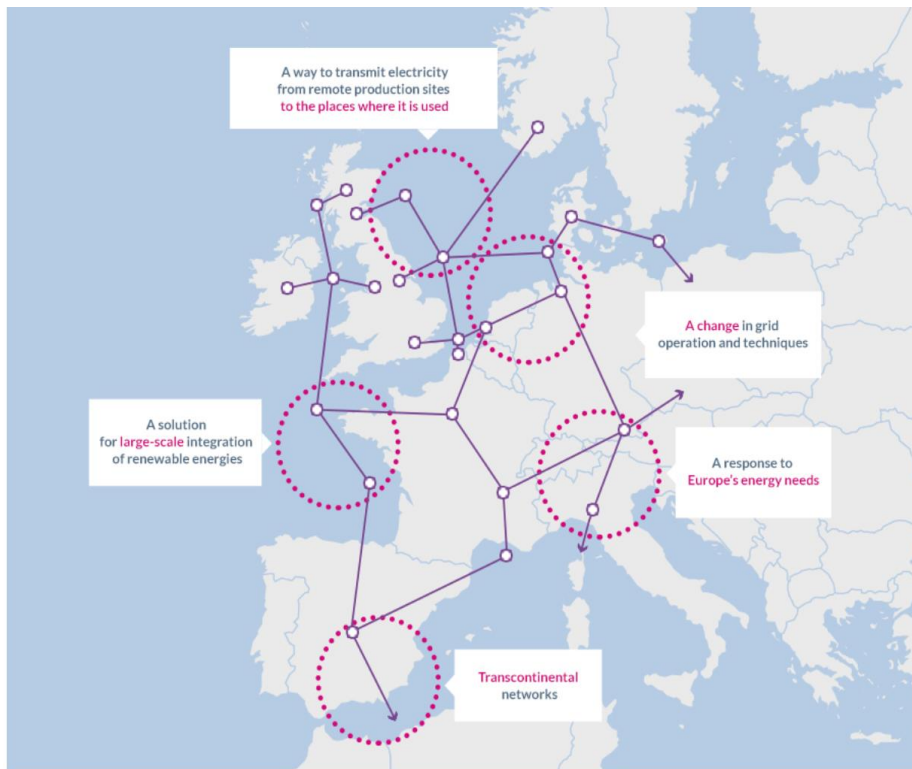
Fig. Variación de la capacidad de transmisión de la línea dependiendo del tiempo [19]

## Elia (Bélgica) and RTE (Francia)

- Elia desde 2008 está desarrollando y probando métodos de predicción de la capacidad de las líneas en diferentes horizontes de tiempo..
- Resultados muestran un 30% de aumento de las corrientes de las líneas.



- Las interconexiones permiten el transporte de electricidad entre áreas de balance
- Operadores de diferentes sistemas pueden comprar y vender electricidad y otros servicios de la red entre sí, creando **mercados regionales**
- Requiere reglas armonizadas en el mercado mayorista, el mercado de servicios auxiliares y el mercado de capacidad entre toda la región



## Dinamarca-Alemania-Noruega-Suecia

- Integra alrededor de un 49% de Energía eólica
- Sistemas de bombeo hidroeléctrico en países vecinos

## Irlanda- Reino Unido

- Exporta Energía desde Irlanda Export power from Ireland
- Reducción del recorte ERV en un 50%

## South African Power pool (SAPP)

- Incluye 12 países
- Capacidad total de generación de 62 GW
- Potenciales porcentajes de EVR de 46% en 2030

Fig. European interconnections [21]

## Inercia sintética

- Es la emulación del efecto de inercia de un módulo de generación de Energía síncrona al nivel prescrito de rendimiento.

- Se utiliza para responder a la caída de frecuencia generalmente después de la pérdida de una gran unidad de generación.
- Necesidad de desarrollar controladores específicos para la generación eólica y solar y las baterías.
- los códigos de red deben actualizarse para integrar la respuesta de frecuencia proporcionada por RE.

### Ejemplo Hydro-Quebec

- Requerimientos de sintética inercia en generación eólica desde 2005.
- Diciembre 2015 → fallo en un transformador lleva a una caída de frecuencia hasta los 59.1 Hz.
- Sin inercia sintética → Frecuencia hubiera caído 0.1-0.2 Hz más

# Plantas virtuales

## Plantas de virtuales

- Conjunto de unidades descentralizadas vinculadas entre sí en un sistema de energía que operan bajo un sistema de control único y centralizado
- Unidades descentralizadas: ER, unidades de almacenamiento, consumidores de energía y generación-a-X-plantas
- Mejora la flexibilidad del sistema
- Activos agregados que se pueden comercializar

### Planta virtual de Statkraft's en Alemania

- Opera desde 2012
- Comprende más de 1300 parques eólicos+ 100 productores solares, hidroelectricos y de bioenergía
- La capacidad total excede 10 000 MW

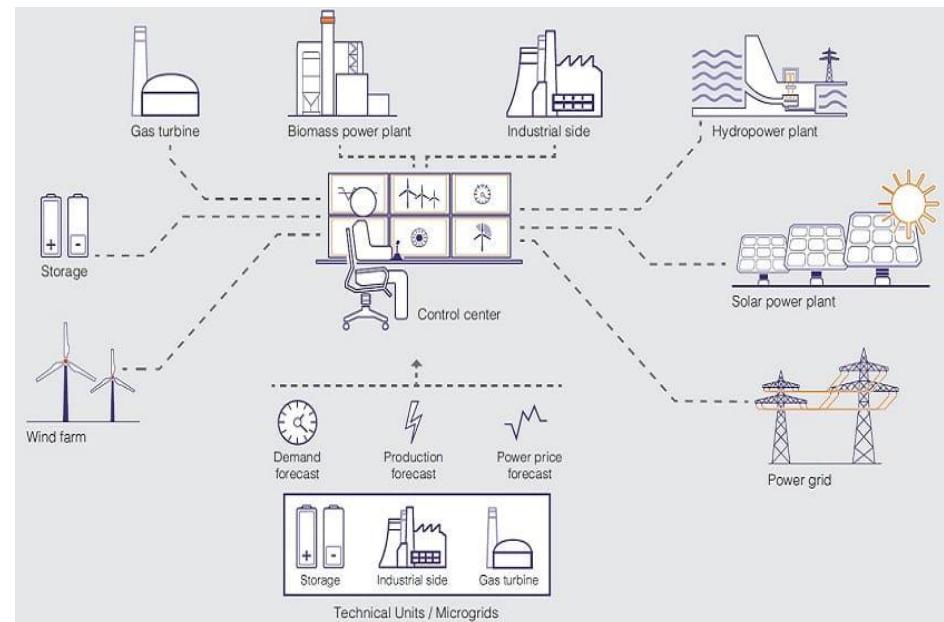
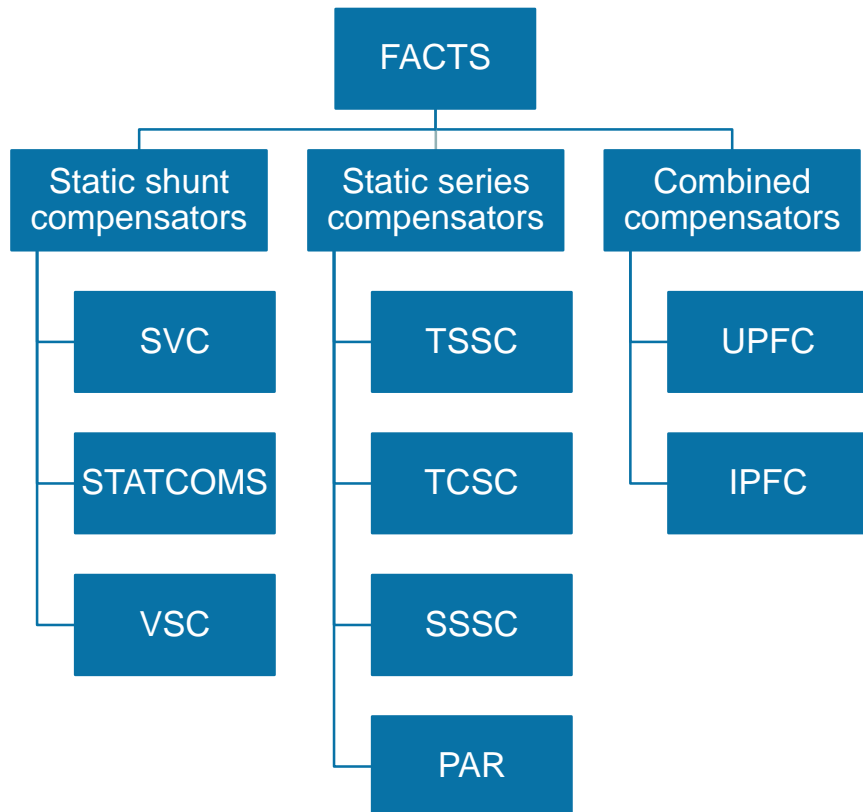


Fig. Planta virtual [11]

# FACTS and dispositivos de compensación

## FACTS

- Sistemas de transmisión de corriente alterna que incorporan electrónica de potencia y otros controladores estáticos para mejorar la capacidad de control y aumentar la capacidad de transferencia de energía.



### Proyecto Chifeng, Mongolia interior

- Problema: 600 MW de parques eólicos se conectan en el mismo punto y requieren de potencia reactiva dinámica
- Solución: instalación de un sistema D-VAR de 16 Mvar.

### Autoridad Long Island Power

- Problema: flujos de carga y la longitud de la isla. Necesita compensación dinámica de potencia reactiva de -96 a +240 MVar
- Solución: instalación de un sistema D-VAR de 36 MVar

## Compensación de pérdidas

- Pérdidas en el Sistema de transmisión desde los generadores hasta los centros de carga.
- Líneas de transmisión
- Otros equipos

## Amortiguación de oscilaciones

- Después de perturbaciones
- Oscilaciones locales están relacionadas con excitadores rápidos
- Oscilaciones entre áreas se deben a sobrecargas en redes débiles.
- Pueden causar blackouts parciales o totales
- Solución: reguladores de tensión con estabilizadores (PSS) y dispositivos FACTS (SVC y STATCOMS)

## Gestión de la congestión

- proceso de utilizar la infraestructura del sistema de energía disponible para operar dentro de las limitaciones del sistema
- Proporciona una señal de inversión a largo plazo a los TSO
- Medidas técnicas: dispositivos FACTS, desfases, cambio de tomas de transformadores, deslastre de carga, reprogramación, etc.
- Medidas no técnicas son subastas, precios nodales o zonales, orden de llegada, etc.

## Respuesta rápida en frecuencia

- Respuesta de todo tipo de generación que no presenta inercia y que inyecta potencia activa adicional a la red para contrarrestar los imbalances de frecuencia.

- Puede ser suministrada por generación solar, eólica y por las baterías
- Require de lazos de control adicionales en los inversores
- Marco de tiempo: varios segundos

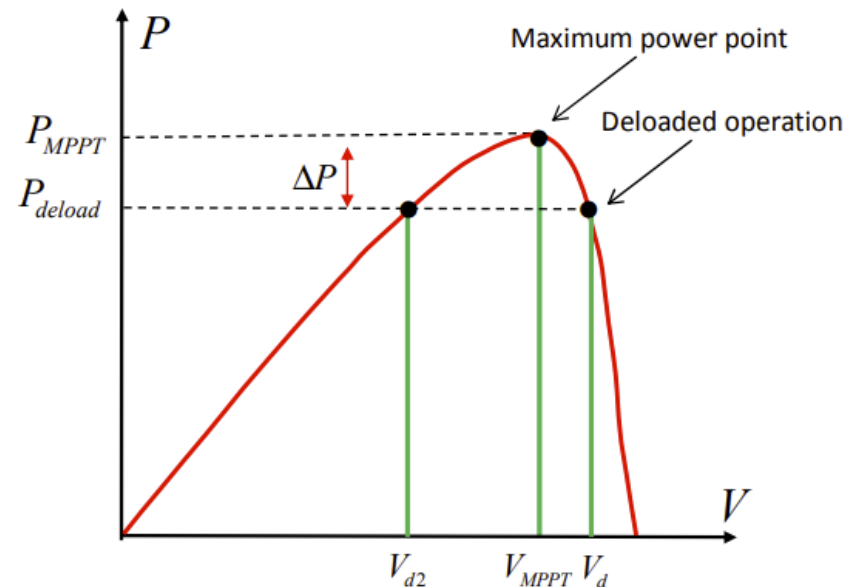


Fig. Metodo Deloaded para generación solar y eólica [8]

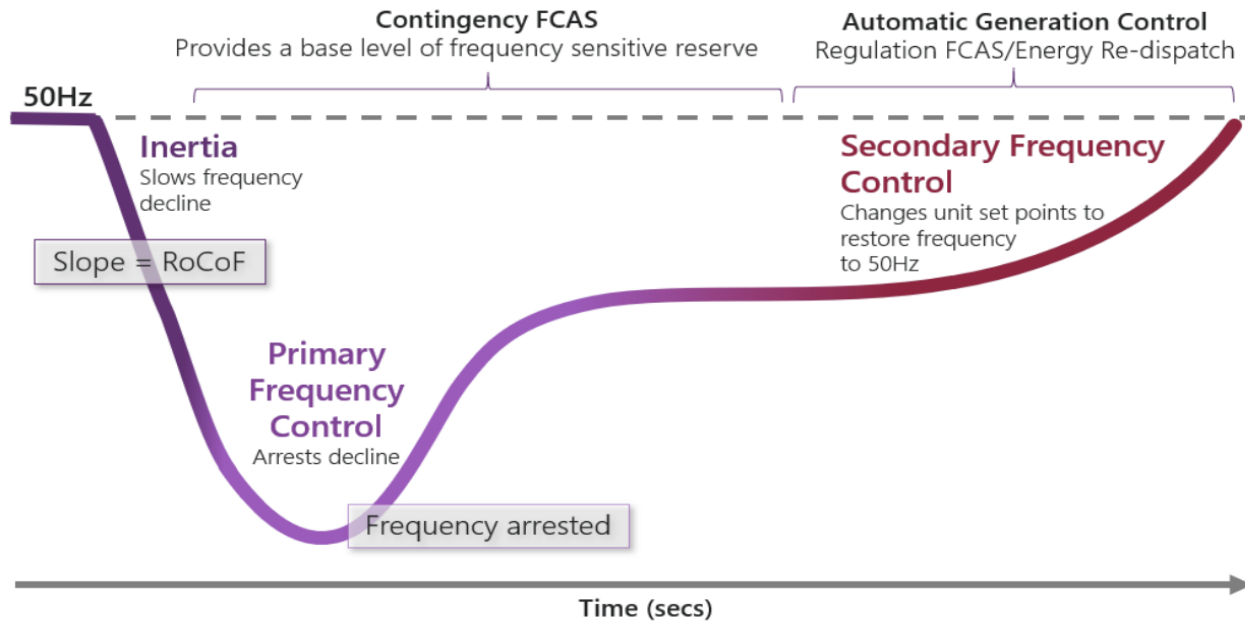


Fig. Frequency response [20]

## AEMO-Respuesta en frecuencia primaria

- Marzo 2020- todos los generadores pueden participar en el Mercado de Energía nacional
- Generación solar y eólica deben reducir su salida al 75%.

## Alemania- Respuesta en frecuencia secundaria

- 13 Junio 2017- Requisitos actualizados para toda ER
- Sistemas de almacenamiento tiene que proveer con capacidades de energía de 4h para periodos de tiempo más largos

# Servicios auxiliares suministrados por BESS

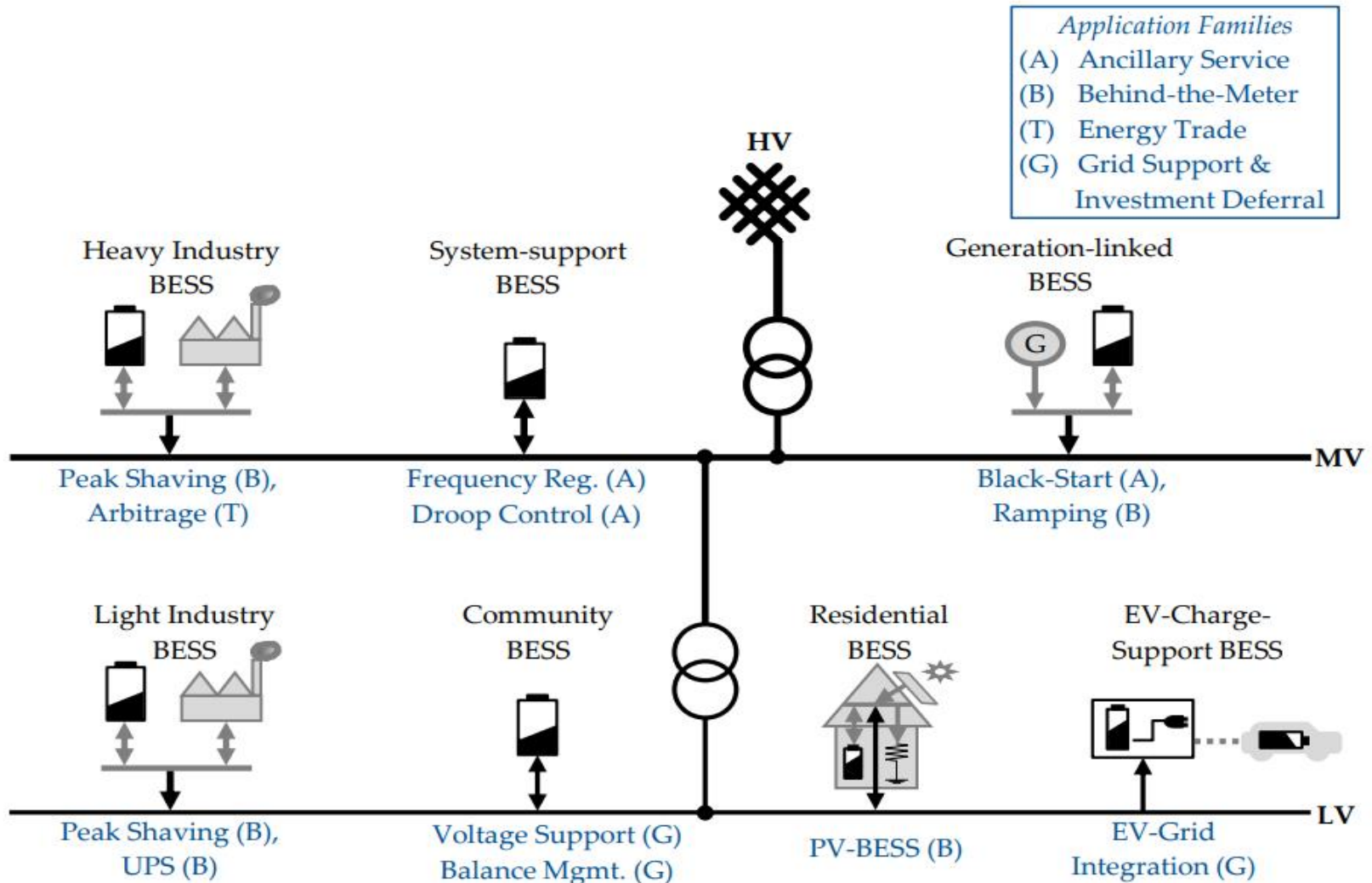


Fig. Sistemas complementarios suministrados por BESS [12]



## Control de tensión o de potencia reactiva

- Conjunto de medidas o acciones de control que se utilizan para mantener un nivel de tensión o valor de potencia reactiva constante.

- los inversores fotovoltaicos, los aerogeneradores doblemente alimentados y de convertidor completo tienen la capacidad de consumir o generar potencia reactiva
- presentan característica de capacidad de potencia reactiva triangular, rectangular o en forma de D como se ve en la figura .

- Dispositivos estáticos y dinámicos: reguladores automáticos de tensión, SVC, STATCOMS, bancos de condensadores o condensadores de derivación conmutados

### Standards de media tension en Alemania

- Los requerimientos de interconexión para sistemas fotovoltaicos conectado MT (10-100 kV)
- Criterio del factor de potencia es de 0.95 en retraso para conducir al máximo → Inversores tiene que estar sobredimensionados o reducidos.
- Require soporte dinámico de potencia reactiva durante las excursiones de tensión.

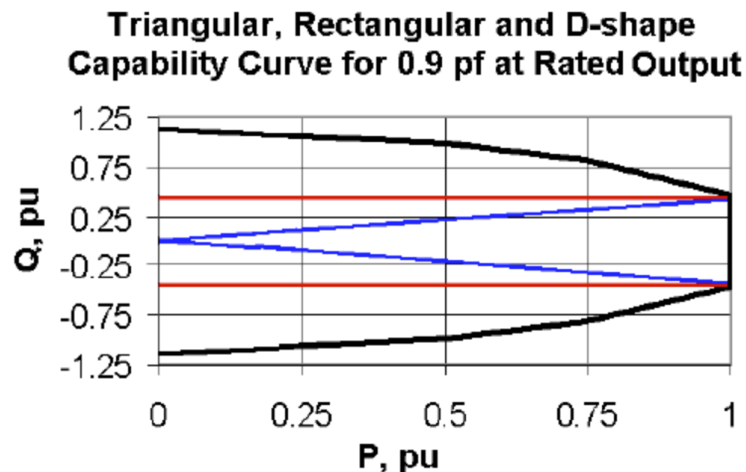
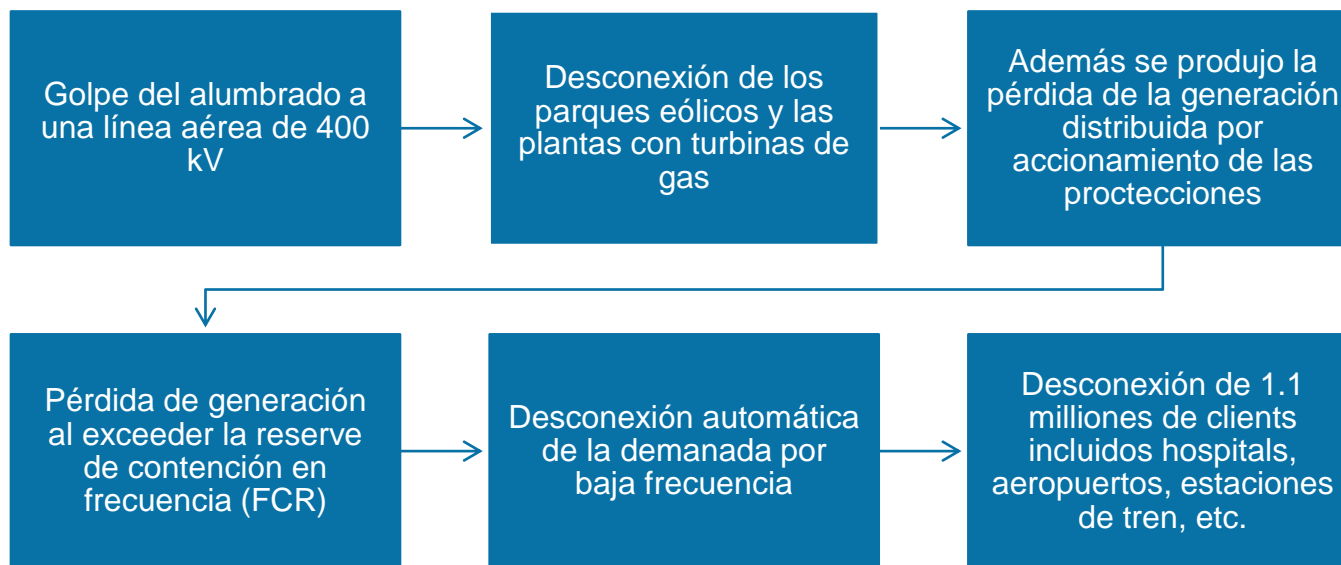


Fig. Capability curves for wind and solar generation [9]

# Arranque en frío (Código de Red de Reino Unido)

## Arranque en frío

- procedimiento que se utiliza para restablecer la energía en caso de un colapso total o parcial del sistema nacional de transmisión de electricidad.



Efecto en cascada de contingencias en Reino Unido [adpatado de (UKERC, 2019)]

- En sistemas de potencia con alto porcentaje de ER, las ER, las baterías y los volantes pueden ser usados para arrancar el sistema a nivel local.

# Case studies of grid stability assessment and recommendations

# Grid assessment -Process

## Formulation of TOR

- Consultation with utility and other stakeholders
- Horizon of study
- Technical study
- Techno economic study
- Hosting capacity
- Transmission level or Distribution level
- Critical scenarios and sub-scenarios

## Kick-off meeting

- Meeting of stakeholders

## Analysis of the Data

- Provided by the utility
- Selection of sites
- Generation dispatch
- Interconnection exchange
- VRE/RE profiles
- Demand forecast
- Network details –Generators, lines, transformers, SVC's, Exciters, AVR's etc.
- Grid Code details- frequency, voltage

## Modelling the power system

- Based on master plans and capacity expansion plans of the country.

## Technical Studies

- Power flow studies
- Short circuit studies
- Frequency stability
- Transient stability
- Voltage stability
- Contingency analysis
- Defense plan studies
- Grid impact and grid code compliance studies

## Finalization

- Report & Model
- Recommendations from the study
- Enablers
- Operational measures

## Objective

- Grid assessment of Lugan Ville grid
- Extension to Port Olry
- A techno Economic analysis- with and w/o biofuels in HOMER

## Methodology

- Generation profiles for solar were developed
- 16 Scenarios developed
- Base Case-diesel and hydro
- Lowest long-term cost case with renewables and batteries -800kW/1100 kW
- Highest renewables case- solar PV and Batteries both Utility scale and distributed
- No major enablers case- without batteries
- Model developed

## Technical studies

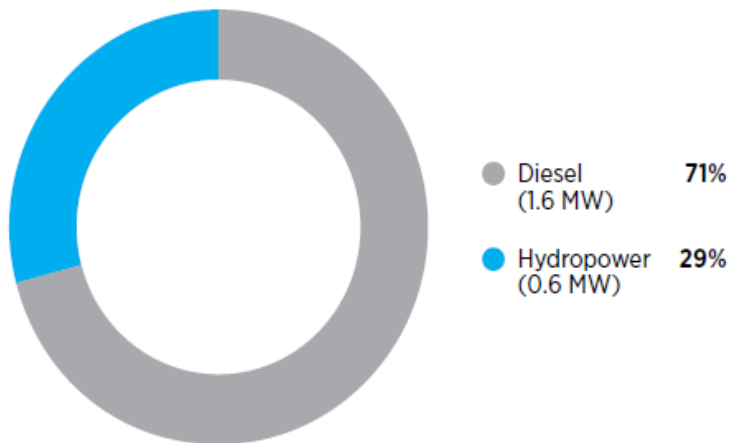
- Steady state analysis- Load flow
- Frequency stability analysis
- Voltage stability
- Transient stability analysis
- N-1 contingency analysis

## Outcome

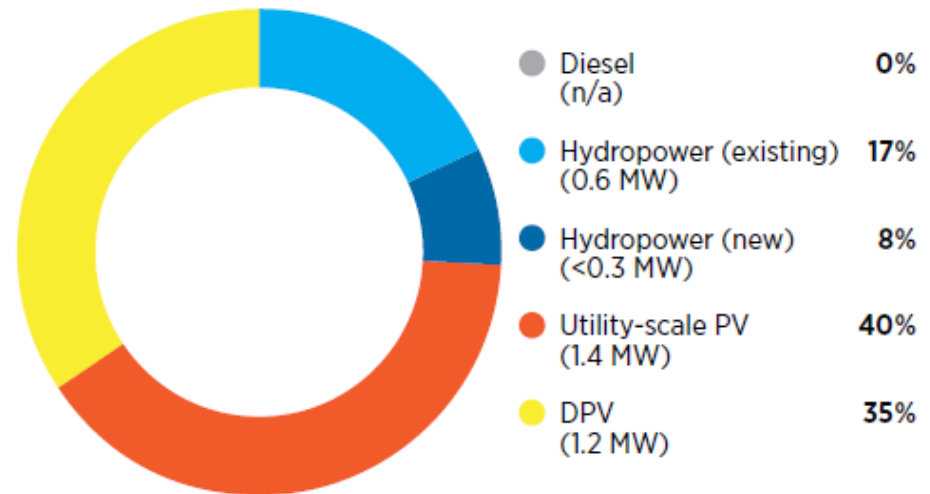
- Lowest long term cost case
- A new grant-funded 800 kW +300 kW(non-funded) run of the river hydropower station
- 2 MW of PV
- 1 MW/2 megawatt hour (MWh) of batteries,
- 0.5 MW of diesel uninterruptible power supply (UPS)
- A comprehensive hybrid control system,
- Achieving 87% renewable energy contribution in 2030

# The Island of Espiritu Santo, Vanuatu

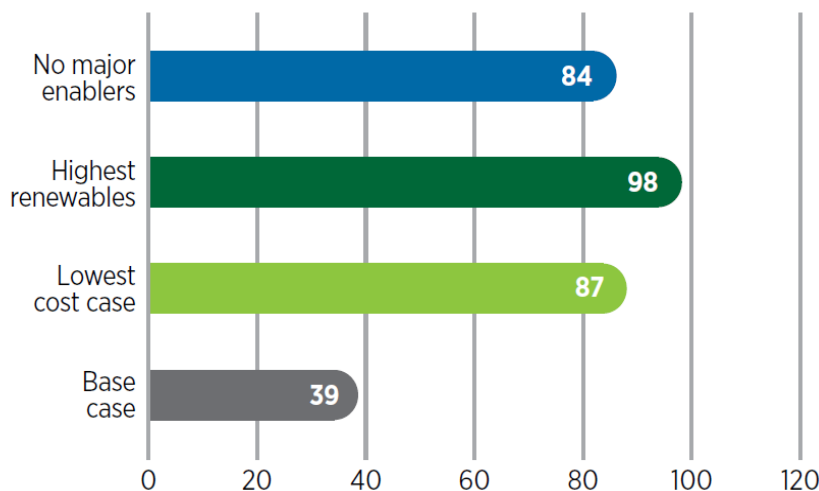
## Dispatch at Peak Demand



## Achievable dispatch at peak demand



## Renewable Shares (%) Achievable By 2030, Espiritu Santo, Vanuatu

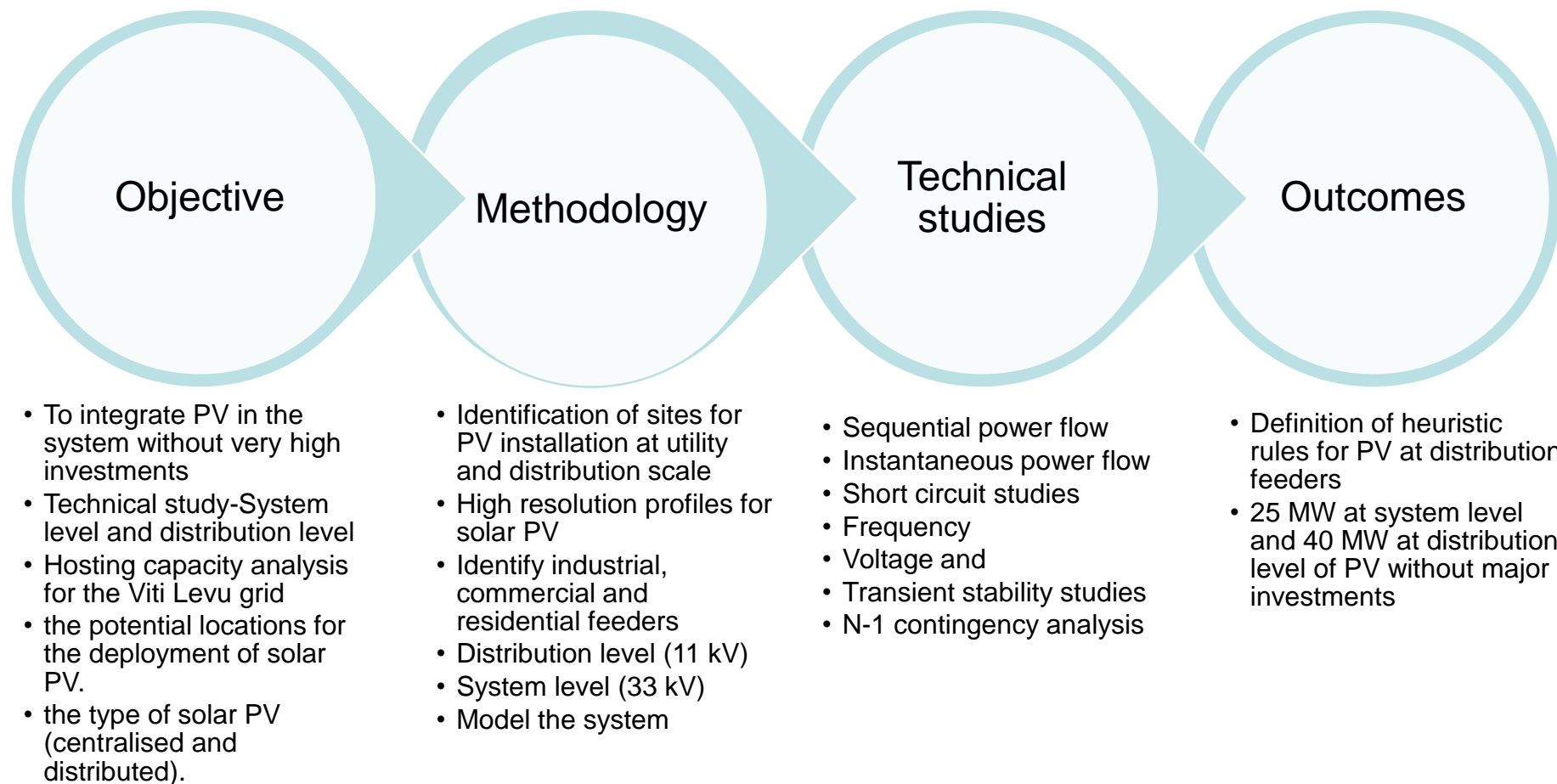


## Infrastructure Measures

- Installing batteries
- Dynamic Resistor banks
- Hybrid control system
- Upgrading existing system
- Synchronous condensers and Diesel UPS

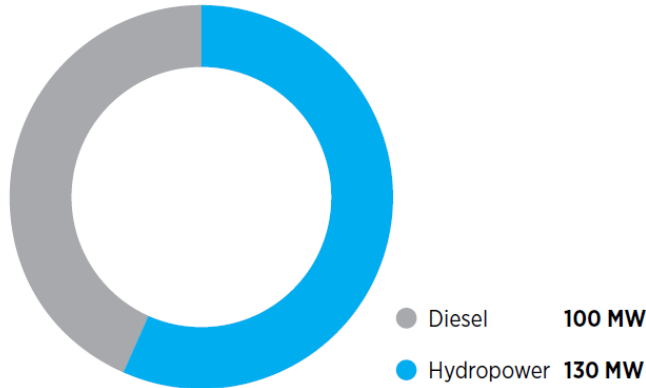
## Operational measures

- Higher voltage settings using PV inverters to achieve better voltage regulation
- Siting the battery based on voltage and frequency support

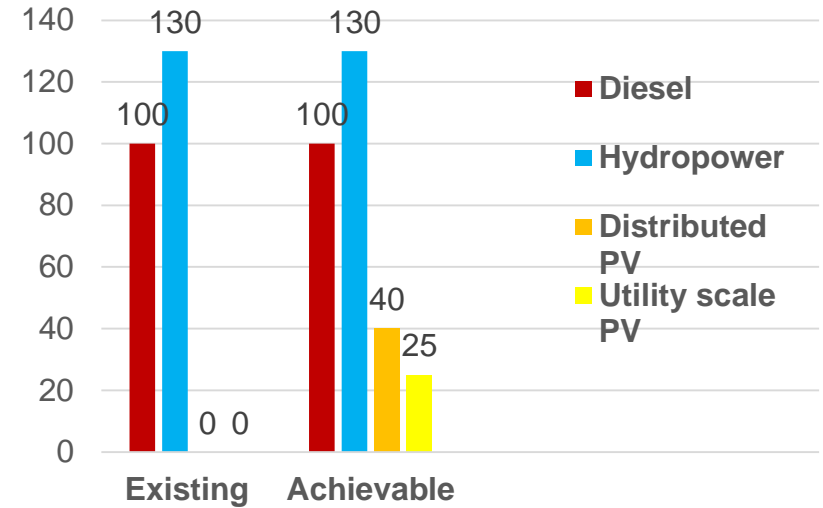


# The Island of Viti Levu, Fiji

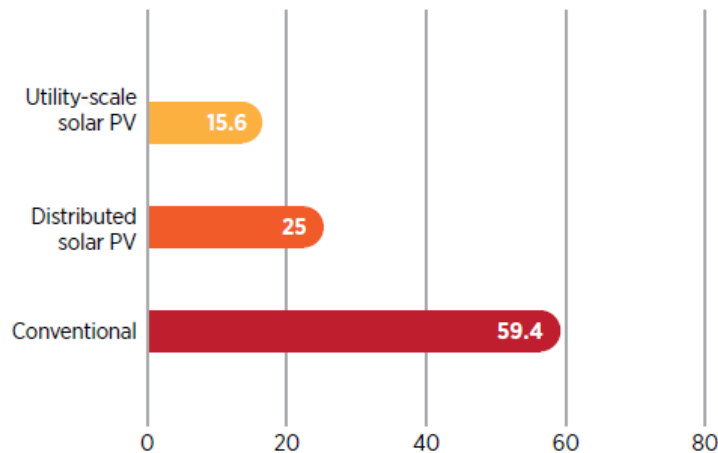
## POWER GENERATION MIX (2017)



- Higher consumption for diesel



## Achievable shares (%) at 160 MW peak demand



## Measures

- Voltage regulation measures
- PV inverters providing reactive power support and LVRT
- Curtailment could help adding more PV
- Adapting ramp rate requirement for hydropower and diesel generators
- Grid code modification
- Siting of the PV systems according to distance from substation



### Frequency support

- Installation of batteries for primary frequency support
- Must run units for frequency support- with fast response
- Frequency support from VRE generation by maintaining power reserve
- Change in droop values of synchronous generation units
- Reactive power capabilities from VRE generation at connection point to be modified

### Congestion

- Installation of batteries
- Ensure VRE generation are connected at points with transfer capacity available
- Reinforcing the grid by building new lines

### Voltage control

- Installation of shunt devices
- Operational strategy for shunt capacitor banks/STATCOMS to avoid over-voltages.
- Analyse and revise voltage limits
- Ensure Fault ride through (FRT) from VRE generation

### Operational procedures

- Re-configuration of grid
- Generation re-dispatch
- Use of advanced forecasting tools
- Merit order of dispatch of generation to be analysed to avoid transient stability issues.

- [1] <https://www.power-grid.com/2009/10/01/statcoms-benefit-from/#gref>
- [2] <https://spectrum.ieee.org/energywise/energy/renewables/can-synthetic-inertia-stabilize-power-grids>
- [3] <https://www.nationalgrideso.com/future-energy/projects/distributed-restart>
- [4] <https://www.igi-global.com/dictionary/artificial-immune-system-management-complex/9856>.
- [5] *The Power Grid*, Smart, Secure, Green and Reliable, 2017, Pages 37-55.
- [6] Ilango K; Bhargav.A; Trivikram.A; Kavya.P.S; Mounika.G; Manjula G. Nair, “Power Quality Improvement using STATCOM with Renewable Energy Sources” , 2012.
- [7] [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Topics/Innovation-and-Technology/IRENA\\_Landscape\\_Solution\\_03.pdf?la=en&hash=4CA7BC3441AF5435BC00CB11E2BDB41F51521C09](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Topics/Innovation-and-Technology/IRENA_Landscape_Solution_03.pdf?la=en&hash=4CA7BC3441AF5435BC00CB11E2BDB41F51521C09)
- [8] Claudia Rahmann and Alfredo Castillo, “Fast Frequency Response Capability of Photovoltaic Power Plants: The Necessity of New Grid Requirements and Definitions”, *Energies* 2014, 7, 1-x;
- [9] [https://www.esig.energy/wiki-main-page/reactive-power-capability-and-interconnection-requirements-for-pv-and-wind-plants/#Reactive\\_Capability\\_or\\_Requirements\\_for\\_Wind\\_and\\_Solar\\_PV\\_Generators](https://www.esig.energy/wiki-main-page/reactive-power-capability-and-interconnection-requirements-for-pv-and-wind-plants/#Reactive_Capability_or_Requirements_for_Wind_and_Solar_PV_Generators)
- [10] <https://www.statkraft.com/newsroom/news-and-stories/archive/2018/virtual-power-plant-europes-biggest-power-plant-is-100-renewable/>
- [11] Powerinfotoday, 2017. *Powerinfotoday*. [Online] Available at: <https://www.powerinfotoday.com/whitepapers/virtual-power-plants-distributed-generation-is-not-a-threat-it-s-an-opportunity/> [Accessed 25 April 2019].
- [12] Bank, A. D., 2018. *Handbook on battery energy storage system*, s.l.: Asian Development Bank.
- [13] M. S. Alam and S. A. Arefifar, "Energy Management in Power Distribution Systems: Review, Classification, Limitations and Challenges," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 92979-93001, 2019.
- [14] Abhimanyu Kaushal; Dirk Van Hertem, “An Overview of Ancillary Services and HVDC Systems in European Context”, *Energies* 2019, 12, 3481.

- [15] Singh, B. et al., 2011. Applications of phasor measurement units (PMUs) in electric power system networks incorporated with FACTS controllers. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3(3), pp. 64-82.
- [16] Robert Eriksson; Niklas Modig; Katherine Elkington, “Synthetic inertia versus fast frequency response: a definition”, *IET Renew. Power Gener.*, 2018, Vol. 12 Iss. 5, pp. 507-514.
- [17] [https://reneweconomy.com.au/aemc-makes-frequency-response-mandatory-for-all-generators-renewables-to-be-hit-with-costs-13814/?\\_\\_cf\\_chl\\_jschl\\_tk\\_\\_=2a3438e51d433629ccc77a4205c2f31d824f930e-1603433126-0-AdZgzKaIYI-77ON7J7uXOM\\_JWNTIA0kZMzkr9F6P7BCWsTCcsnvMDqYwwQRBaOPc\\_LSw2IAAALU4uVgepiCYUZJbagg\\_UCHJVzMuux9jQkYHJE0OIV3w0IE1sOEBkJ4PN25W9Ugh93nSn98zHV5-VqVgLiLZpgNbu9fc52vbVF-te4\\_QHcbnLkil5fePXmGQpV6UWh-Ymy86GEz3aIV5I6VliNsgjvUzZ5UOxWVrQYqRg5\\_8kMkyZidQOJtGd3YszUC0hN9mpSNpcB7X8asa5Qy9FSC4ULdOr0BP6NjWQ1obeMDPHI4L8oLogBlqDbzJFX3CNvqPK6x-4Fgh5keZd4L5eHt8zzCQEiC2hFP28ORERBDIivQNYL57BYM1wSZAhagENwqQfRju582tKN\\_zxZto](https://reneweconomy.com.au/aemc-makes-frequency-response-mandatory-for-all-generators-renewables-to-be-hit-with-costs-13814/?__cf_chl_jschl_tk__=2a3438e51d433629ccc77a4205c2f31d824f930e-1603433126-0-AdZgzKaIYI-77ON7J7uXOM_JWNTIA0kZMzkr9F6P7BCWsTCcsnvMDqYwwQRBaOPc_LSw2IAAALU4uVgepiCYUZJbagg_UCHJVzMuux9jQkYHJE0OIV3w0IE1sOEBkJ4PN25W9Ugh93nSn98zHV5-VqVgLiLZpgNbu9fc52vbVF-te4_QHcbnLkil5fePXmGQpV6UWh-Ymy86GEz3aIV5I6VliNsgjvUzZ5UOxWVrQYqRg5_8kMkyZidQOJtGd3YszUC0hN9mpSNpcB7X8asa5Qy9FSC4ULdOr0BP6NjWQ1obeMDPHI4L8oLogBlqDbzJFX3CNvqPK6x-4Fgh5keZd4L5eHt8zzCQEiC2hFP28ORERBDIivQNYL57BYM1wSZAhagENwqQfRju582tKN_zxZto)
- [18] <https://www.apricum-group.com/german-secondary-control-reserve-market-will-recent-regulatory-updates-finally-pave-way-energy-storage/>
- [19] IRENA (2019), Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [20] Power system requirements, AEMO, July 2020.
- [21] <https://www.planete-energies.com/en/medias/close/european-interconnections>

**THANK YOU**