



## Modelo de red inteligente aplicable a la ZNI

Lecciones aprendidas y desafíos

Guillermo Jiménez Estévez  
Universidad de los Andes

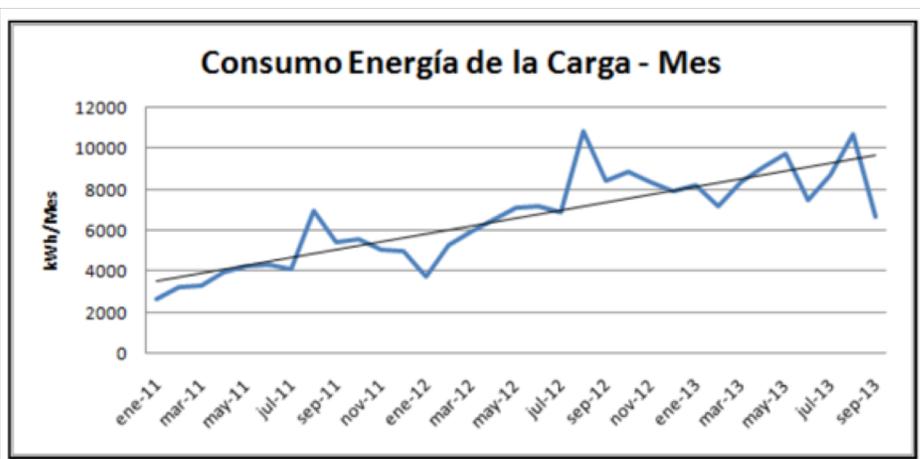


*Cali, Colombia, Agosto de 2019*

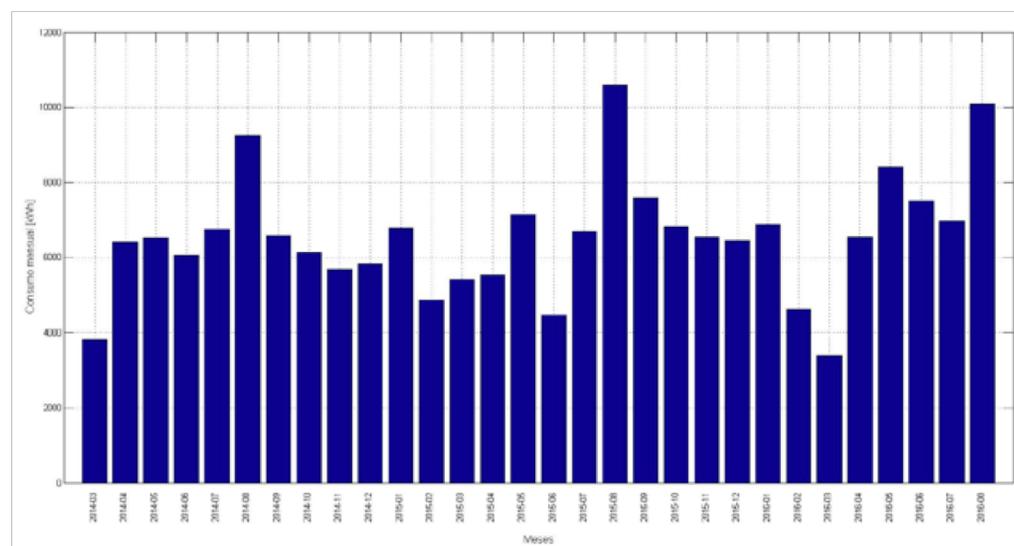


## Lecciones aprendidas - Técnico- Consumo de energía

### Caso Huatacondo – Inicio de operación en año 2010



Primeros tres años de operación  
Demanda de energía aumenta 3 veces



Siguientes tres años de operación  
Demanda de energía se sostiene

## Lecciones aprendidas - Técnico- Consumo de energía

### Caso Huatacondo – Inicio de operación en año 2010

**UTILIZA BIEN TU ENERGÍA** 



Prefiere siempre la luz natural.

Reemplaza ampolletas incandescentes por ampolletas de bajo consumo, que utilizan alrededor de un 25% menos de energía que las incandescentes.

Apaga luces encendidas en habitaciones que no estés utilizando.

Mantén limpias las ampolletas y pantallas, esto aumentará la luminosidad sin aumentar la potencia.



**UTILIZA BIEN TU ENERGÍA** 



Prefiere los programas de agua fría entre el 80 y 85% de la energía que consume se utiliza para calentar el agua.

Utiliza siempre tu lavadora con carga completa, para aprovechar al máximo su capacidad.

Aprovecha el calor del sol para secar la ropa.

Usa descalcificantes y limpia regularmente el filtro de tu lavadora de impurezas; así utilizarás eficientemente la energía.



A pesar de las medidas de eficiencia energética se presenta la tendencia a incrementar el consumo de energía:

- Adquisición de nuevos artefactos → Nuevo estándar de vida
- Cambio de conductas y patrones → agro por TV
- Dilema SIN vs ZNI ?

## Lecciones aprendidas - Técnico- Continuidad de la operación

### Caso Huatacondo – Inicio de operación en año 2010

- Análisis en caso de fallas

	Consumo adicional [Litros/día]	Paneles con seguimiento [#]	Inversores PV funcionando [#]	BESS funcionando []	Consumo adicional [Litros/día]
		6	3	Si	0
		5	3	Si	2,59
		4	3	Si	5,18
		3	3	Si	7,77
Seguimiento 1 mesa	2,59	2	3	Si	10,36
		1	3	Si	12,95
1 Inversor Fotovoltaico	18,96	0	3	Si	15,54
		4	2	Si	24,14
		3	2	Si	26,73
		2	2	Si	29,32
		1	2	Si	31,91
		0	2	Si	34,5
		2	1	Si	48,28
		1	1	Si	50,87
		0	1	Si	53,46
		-	-	No	59,68
BESS+PV	59,68				

Gasto necesario para garantizar la continuidad de la operación

## Lecciones aprendidas - Técnico– Gestión de la energía

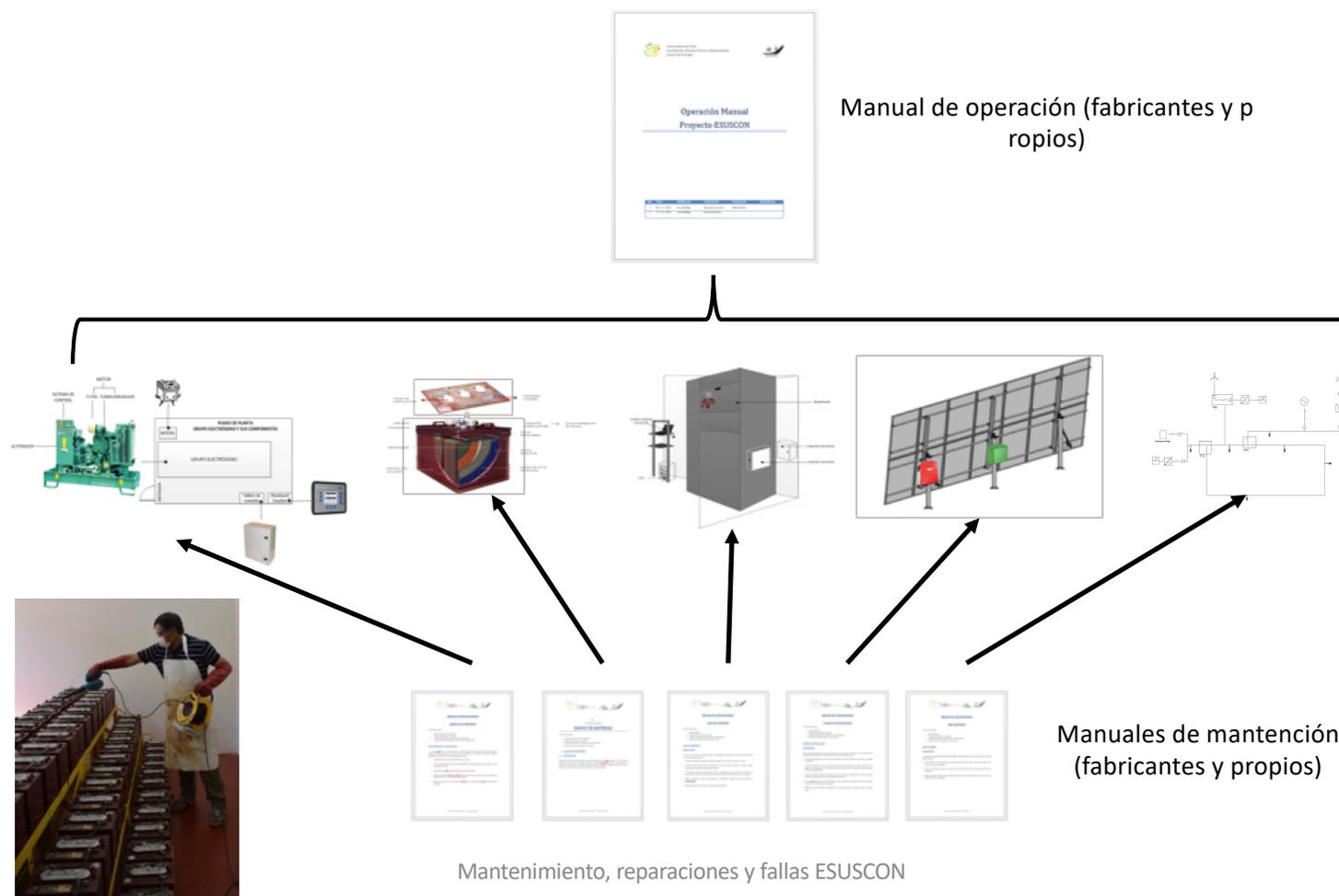
### Caso – Inicio de operación en año 2015

	Real performance	HOMER simulation
PV production [kWh]	316.997	447.764
Wind production [kWh]	29.538	50.905
Diesel based production [kWh]	360.875	157.366
Renewable fraction of consumption[%]	48,9	71,6
Diesel consumption [lt]	99.656	40.872
Non Served Energy [%]	-	0

Desviación de óptimo de operación por malos ajustes en parámetros de gestor de energía (EMS)

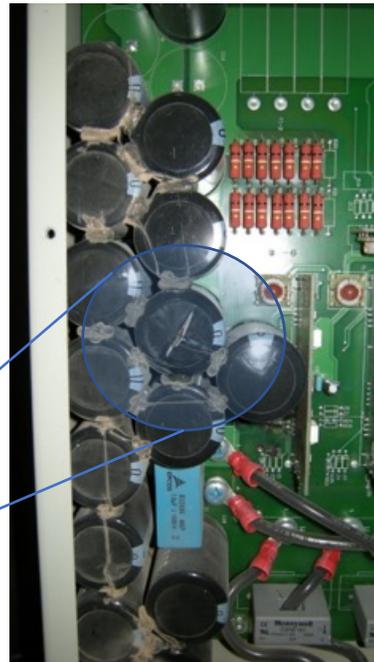
Fracción renovable pasa de 49 % a 72 %

# Lecciones aprendidas - Técnico- Mantenimiento componentes



# Lecciones aprendidas - Técnico- Mantenimiento componentes - BESS

Falla fuente alimentación de control 1 & Falla conversor de potencia 1  
Mayo-2011



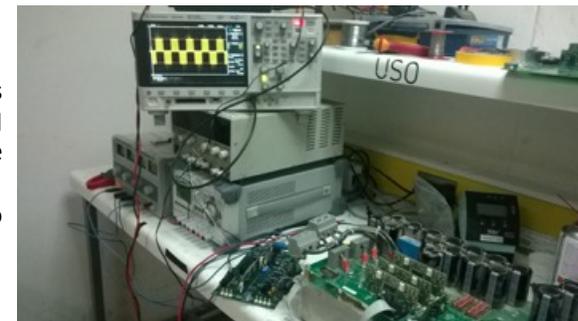
- Falla en fuente alimentación de control.
- Etapa de potencia no funciona (pruebas iniciales).
- Revisión: Fuente interna, condensador bus DC y pistas de potencia destruidos. No existe repuesto en el mercado nacional. Existe otra unidad de repuesto.
- Estudio circuito => detección y cambio de componentes dañados.
- Detención: 2 semanas

# Lecciones aprendidas - Técnico- Mantenimiento componentes - BESS

Falla fuente alimentación 2 & Falla conversor de potencia 2, Junio 2015



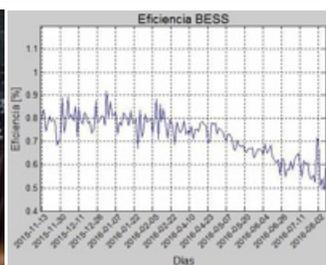
- Falla en fuente alimentación.
- Etapa de potencia no funciona.
- Revisión: Fuente interna y gate drivers dañados. No existe repuesto en el mercado. No hay otra unidad de repuesto.
- Estudio circuito => detección y cambio de componentes dañados.
- Detención: 2 semanas



# Lecciones aprendidas - Técnico- Mantenimiento componentes - BESS

## Recambio banco baterías 2 – Octubre 2016

- Evaluación, compra (traslado) y recepción (seguridad)
- Preparación, limpieza e instalación
- Balance, recepción (pruebas), operación



## Lecciones aprendidas - Técnico– Mantenimiento componentes - BESS



### APRENDIZAJES / DESAFÍOS

- En el caso del convertidor:

- Detalles constructivos: Fijación, espacios, ventilación, seguridad.
- Mejoras protecciones eléctricas (Fuentes de alimentación control)
- **Se debe fortalecer mantenimiento preventivo (limpieza, apriete fijaciones, revisión aisladores, cambio de contactores, cambio ventilación, etc).**
- **Se debe mejorar la capacidad local para reparar equipo (elemento de alta complejidad).**
- **Se debe contar con elementos de repuesto y con capacidad de re-diseño en caso de ser necesario (obsolescencia de componentes críticos)**
- Se debe mejorar documentación (software y hardware).

- En el caso del banco de baterías:

- **Mantenimientos periódicos (ecualización, balance y relleno de electrolito).**
- Evaluación permanente del desempeño del banco (eficiencia y capacidad).
- Consideración de aspectos de seguridad (mantenciones, recambios).
- **Protocolo de recambio de baterías (recepción, instalación, operación).**
- **Protocolo de disposición de baterías usadas (almacenamiento y retiro seguro).**

## Lecciones aprendidas - Técnico– Mantenimiento componentes - PV

### Estado Estructuras



- Estructura bien diseñada, deficiencias en implementación.
- Cimientos con deficiencias de construcción
- Alta corrosión y falta de mantenimiento (zona salina, difícil acceso)

## Lecciones aprendidas - Técnico- Mantenimiento componentes - PV

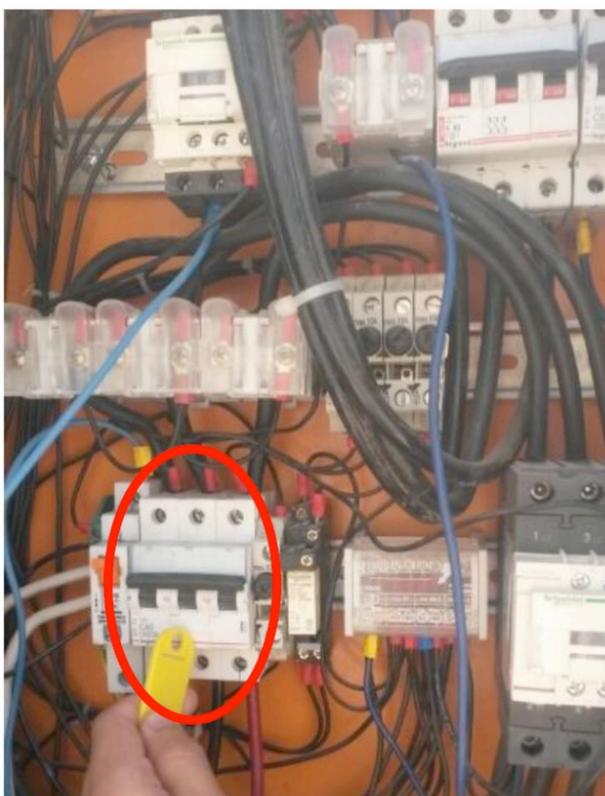
Falla conexión a tierra inversores – Marzo-2015



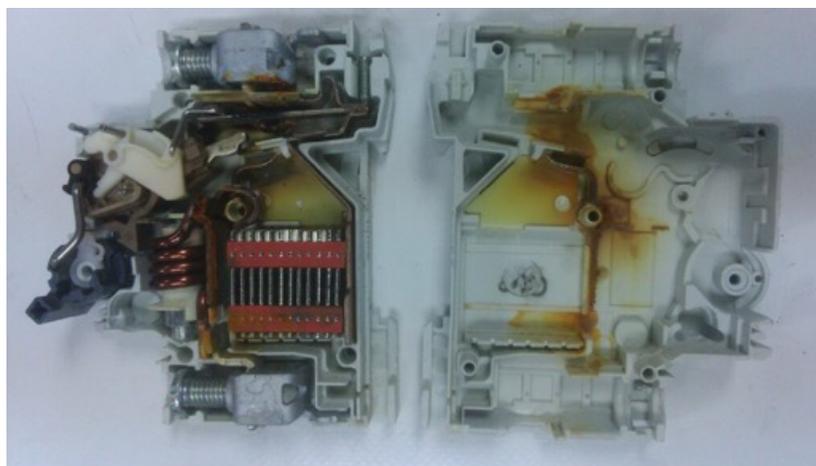
- Luego del cambio de cimientos, la impedancia de la conexión a tierra de los inversores aumenta (Inversor -> estructura FV -> Cimientos nuevos -> tierra).
- Estudio de suelo, instalación de malla tierra (operación y seguridad).
- Tiempo: 6 meses.

## Lecciones aprendidas - Técnico- Mantenimiento componentes - PV

Interruptor trifásico planta FV – Octubre-2016



- Interruptor termomagnético tablero principal no cierra correctamente. Polo asociado a inversor A.
- Revisión muestra el nivel de deterioro en 5 años de operación.

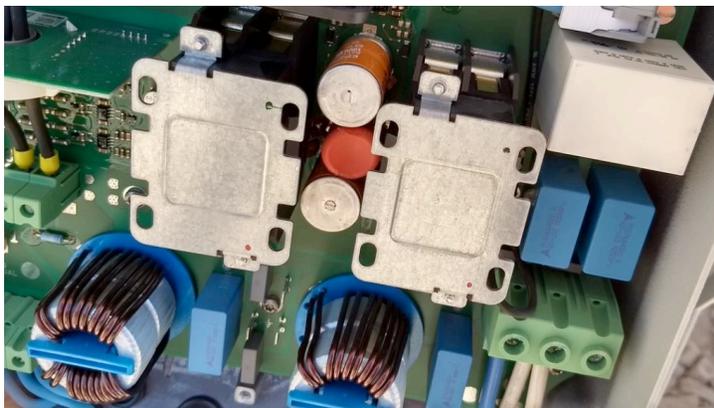


## Lecciones aprendidas - Técnico– Mantenimiento componentes - PV

### Falla cierre relés inversor A – Abril-2017



- Inversor asociado a rama A presenta falla.
- No sincroniza con red. No hay inyección de potencia (se pierde 1/3 de la producción).
- Código de falla indica que es el Relé de sincronización con la red.
- **No existe repuesto en el mercado nacional.**
- **Representante local indica que no puede reparar. Equipo discontinuado.**



## Lecciones aprendidas - Técnico– Mantenimiento componentes - PV



### APRENDIZAJES / DESAFÍOS

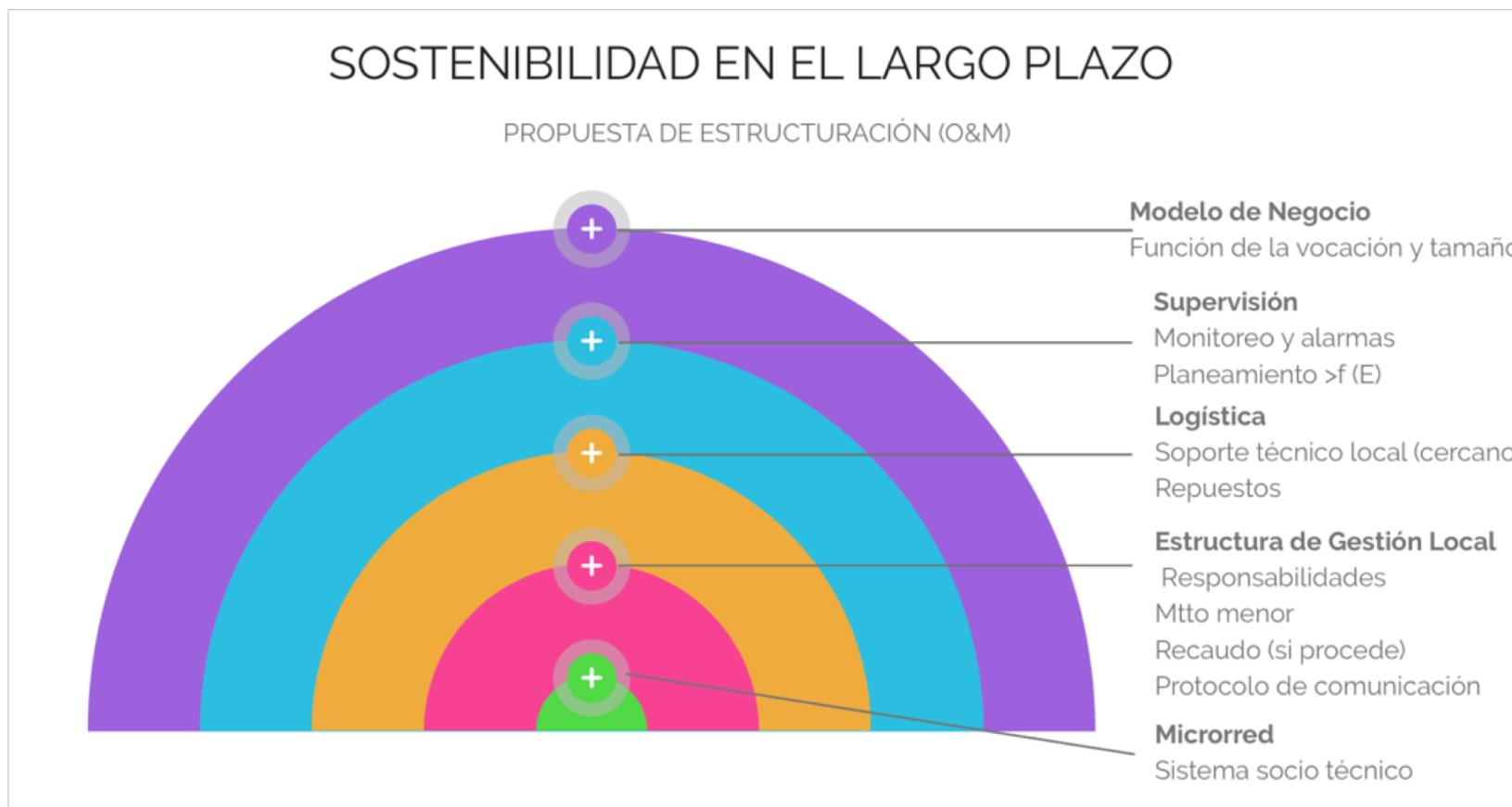
- Respecto a inversores FV:
  - Bajo nivel de falla, bajo nivel de mantenimiento, buena documentación.
  - Adquiridos comercialmente. **Ojo al servicio de postventa.** En caso de falla, la unidad debe ser trasladada a Santiago o Alemania. Unidades discontinuadas después de 7 año de operación.
  - Principal falla: Relé de conexión RED (posiblemente error de fábrica).
- Respecto a tablero principal:
  - Instalación deficiente (filtración de aguas lluvia y sales minerales). Degradación de interruptores y contactores.
  - Conexiones eléctricas deficientes (cables sueltos, influencia en mediciones).
  - Múltiples modificaciones no documentadas.
- Módulos FV:
  - Sombreado entre mesas produce puntos de alta temperatura.
  - No hay control de degradación.
  - Dificultad para limpieza (dimensiones, traslado de agua).

## Lecciones aprendidas - Técnico - Comentarios

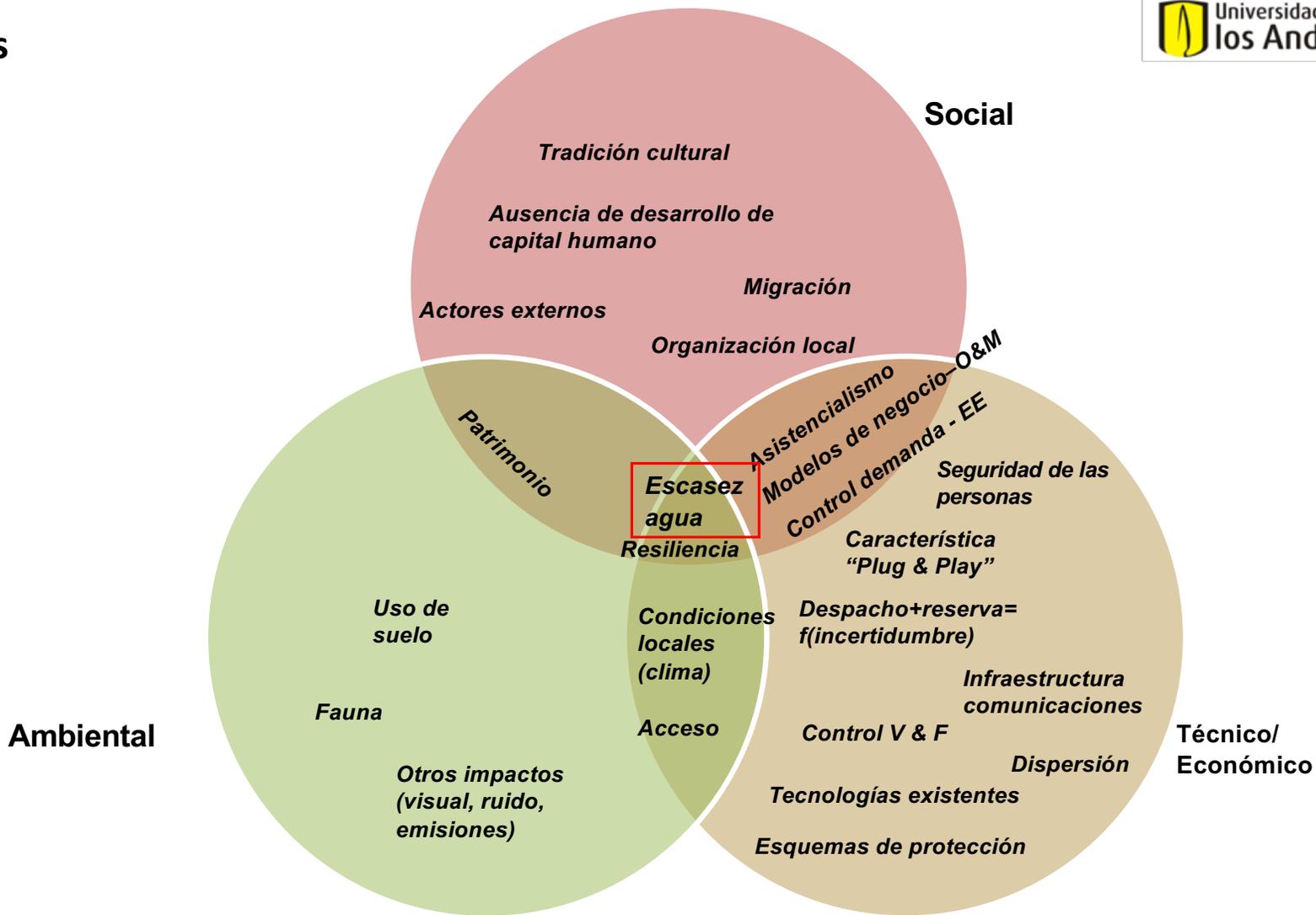


- Sistemas exitosos desde el punto de vista del usuario (electricidad 24/7).
- Plan de mantenimiento preventivo básico (debe ser mejorado).
- Definición **con la comunidad de una estructura de gestión local** para asegurar prácticas adecuadas de mantenimiento y operación. (Reglamento)
- **La formación de capital humano local debe ser prioritario (no es fácil ni barato ni rápido).**
- Aunque la Eficiencia Energética puede ser promovida a nivel de comunidad, se debe considerar un aumento considerable del consumo de energía como criterio de diseño y planificación.
- **Las buenas prácticas de implementación es crítico para la sustentabilidad del proyecto (fuerte inversión en reparaciones y tiempos de ejecución). → Madurez del mercado (costos y calidad de servicio)**
- Importancia de disponer de estadísticas asociada al control de micro-redes para evitar repetir problemas (transiciones diésel/inversor, SOC alto/bajo en BESS).
- **Se debe mantener y actualizar toda la documentación (sistema en constante mejora y cambios).**
- **Se debe contar con contratos de mantenimiento /actualización / mano de obra calificada en caso de falla de componentes críticos (electrónica, comunicación, software).**
- **Se debe cuidar los aspectos de seguridad y control de desechos (trabajo en lugares peligrosos, manejo de baterías, trabajos en tensión industrial, exposición a radiación UV, etc).**
- **Calidad y seguridad de las personas → Normatividad de instalaciones eléctricas → Compatibilidad con situación en campo.**

## Lecciones aprendidas - Estructuración

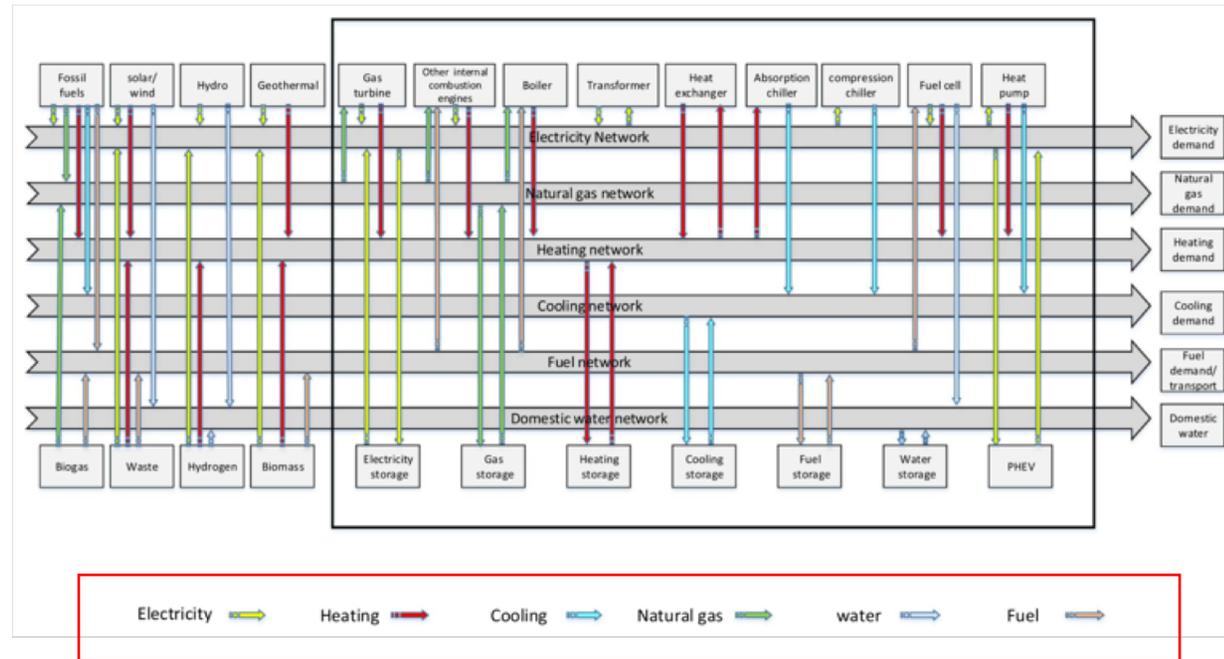


# Desafíos



## Desafíos – Integración de sistemas energéticos

- La integración de sistemas energéticos es el proceso de **coordinar** la operación y planeación de sistemas energéticos de **múltiples escalas geográficas** para entregar/proveer un servicio confiable y costo efectivo **minimizando el impacto al medio ambiente**.
- En la literatura el mismo concepto de ESI se conoce como:
  - Integrated Energy Systems
  - Multi-Energy Systems (MES)
  - Energy Internet



P.Mancarella, MES (multi-energy systems): An Overview of Concepts and Evaluation Models, Energy, 2014  
 M.O'Malley, B.Kroposki, B.Hannegan, H.Madsen, M.Andersson, W.D'haeseleer, M.McGranaghan, C.Dent, G.Strbac, S.Baskaran, M.Rinker, Energy Systems Integrations: Defining and Describing the Value Proposition, NREL Technical Report, 2016  
 M.Mohammadi, Y.Noorollahi, B.Mohammadi-ivatloo, Energy Hub: From a Model to a Concept – A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017

## **Desafíos – Soluciones Rurales Integradas**



Energización de las zonas no interconectadas lleva consigo otros desafíos: **abastecimiento de agua y comunicaciones, entre otros.**

**Ausencia de articulación entre las instituciones responsables del desarrollo asociado a cada sector.**

**Ausencia de una estructura de planeamiento, gestión y seguimiento al desarrollo de las ZNI**

**Desarrollo tecnológico suficiente para promover, planear y desarrollar soluciones energéticas integradas.**

**Oportunidad para fortalecer el desarrollo rural del país en una etapa post conflicto.**

## **Desafíos – Soluciones Rurales Integradas – Antecedentes / Oportunidades**



**Implementación de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET) →**  
construidos sobre diálogo con comunidades locales.

**Oportunidad para promover soluciones integradas.**

**Consideración de reformas institucionales para las zonas no interconectadas, que permita una visión mas integral.**



**GRACIAS !**

[ga.jimenez@uniandes.edu.co](mailto:ga.jimenez@uniandes.edu.co)