

# BESS (Almacenamiento de energía en baterías) en la regulación de frecuencia primaria y secundaria Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana (ETED): Estudio de prefactibilidad

Trabajo del equipo de investigación  
 Distribución y Transmisión en desarrollo.

Presentado por:

Wilson Suárez Fernández

José Luis Moreno San Juan

José Adelis Contreras García



27 de marzo 2025

Santo Domingo de Guzmán

Instituto de Energía

Universidad Autónoma de Santo Domingo

# Agenda

Equipo de investigación  
Distribución y Transmisión a  
cargo de este tema:  
Carlos Fernández (coordinador)  
Abraham Pichardo  
Rafael Guerrero



I. Introducción ..... 3

II. Mayor penetración renovables ..... 8

III. Operación de sistemas de almacenamiento  
independientes (Stand Alone)..... 9



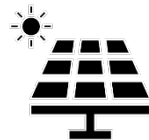
IV. Ejemplo de BESS en operación..... 11

V. Peaje de transmisión. Pagos de Potencia  
y Energía ..... 12



VI. Evolución del Peaje de transmisión..... 18

VII. Equipamientos de la ETED..... 19



VIII. Evaluación prefactibilidad del BESS..... 22

IX. Conclusiones y recomendaciones..... 23

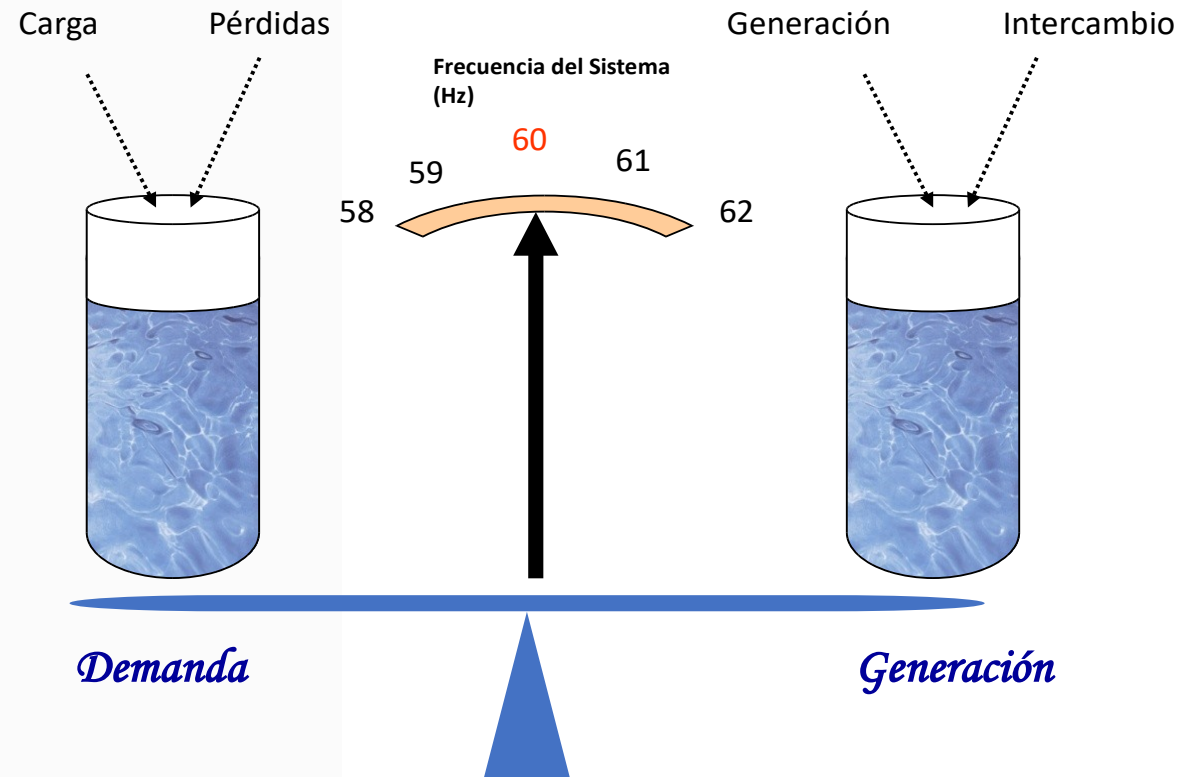
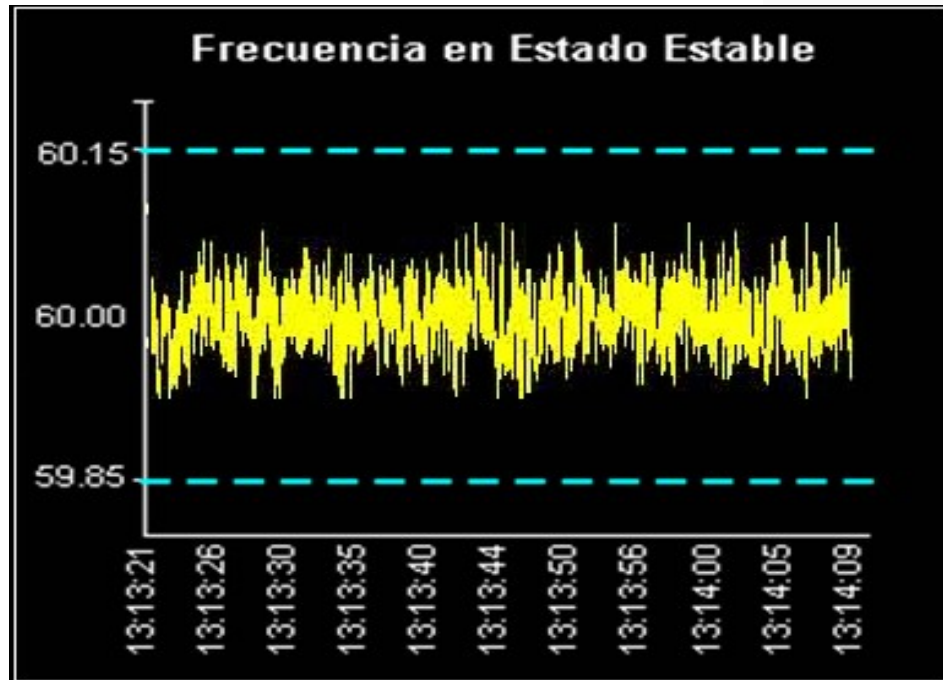
# I. Introducción.

- La respuesta en frecuencia de un sistema de almacenamiento de energía en baterías (BESS) por sus siglas en inglés de Battery Energy Storage System. Se refiere a la capacidad del BESS para proporcionar potencia activa en respuesta a un cambio en la frecuencia de la red eléctrica. Cuando la frecuencia de la red se desvía de su frecuencia nominal, indica un desajuste entre la oferta y la demanda de energía en el sistema. Para mantener la estabilidad y la fiabilidad de la red, es fundamental restablecer rápidamente el equilibrio entre la oferta y la demanda (M. Bagheri-Sanjareh et al., 2020; M. K. Kamaludeen et al., 2025; X. Li et al., 2013).
- Los BESS pueden proporcionar una respuesta en frecuencia ajustando su potencia activa de salida en respuesta a una desviación de frecuencia. El BESS se controla mediante una característica de caída, que define la relación entre la desviación de frecuencia y la potencia activa de salida. Esta característica es proporcional, donde la potencia activa de salida es directamente proporcional a la desviación de frecuencia. Cuando la frecuencia de la red disminuye (subfrecuencia), el BESS aumenta su potencia activa de salida proporcionalmente a la desviación de frecuencia (M. Bagheri-Sanjareh et al., 2020).
- Por el contrario, cuando la frecuencia de la red aumenta (sobrefrecuencia), el BESS reducirá su potencia activa de salida proporcionalmente a la desviación de frecuencia. Esto ayuda a restablecer el equilibrio entre la oferta y la demanda en la red y a mantener la estabilidad y la fiabilidad del sistema. **La respuesta rápida a fluctuaciones en la frecuencia es un requisito importante para que los sistemas BESS cumplan con los códigos y regulaciones de la red. Contribuye a garantizar la estabilidad y la fiabilidad de la red y permite la integración de fuentes de energía renovables y otros recursos energéticos distribuidos.**

# I. Introducción.

Bajo condiciones normales, la generación se encuentra balanceada con la demanda del sistema, manteniendo la frecuencia alrededor de los 60 Hz.

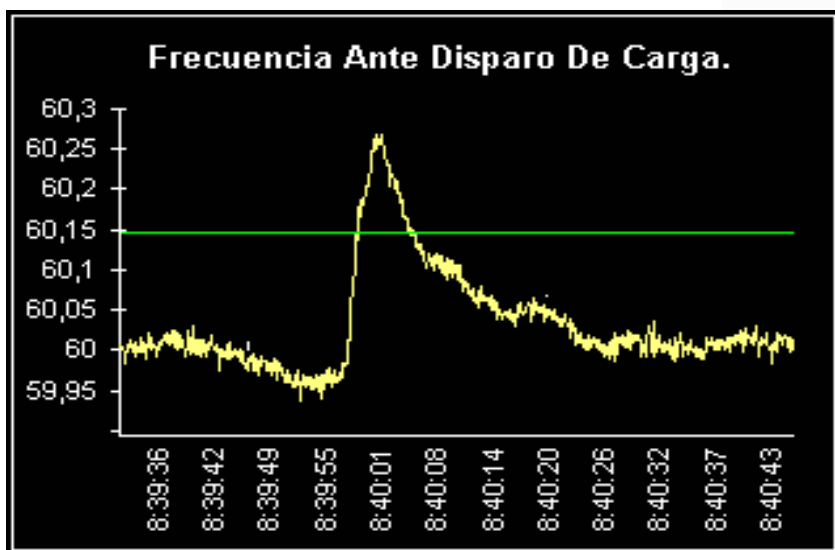
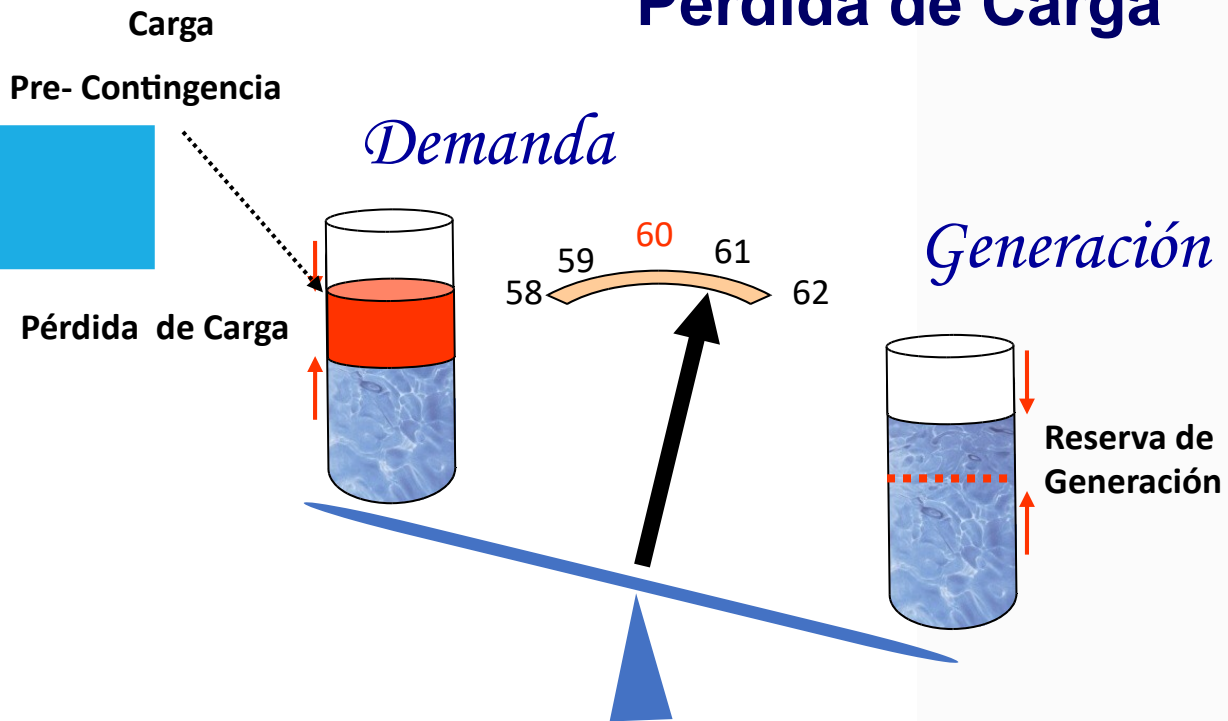
## CONDICIONES NORMALES



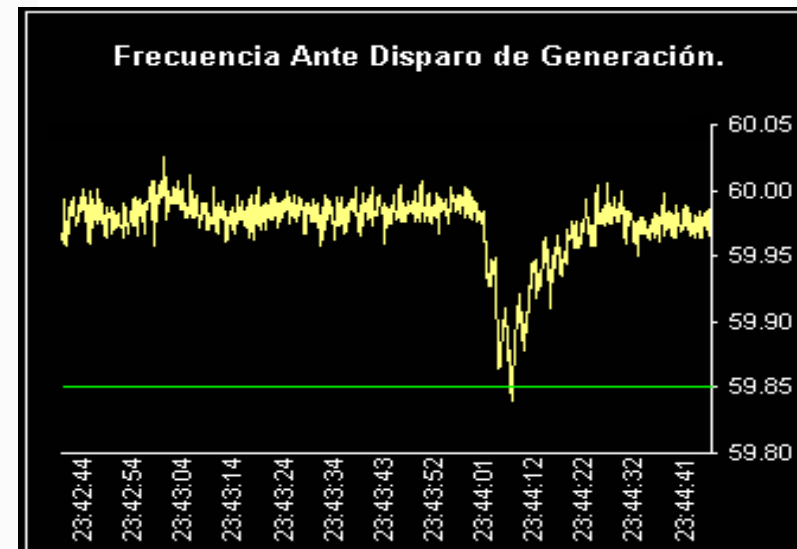
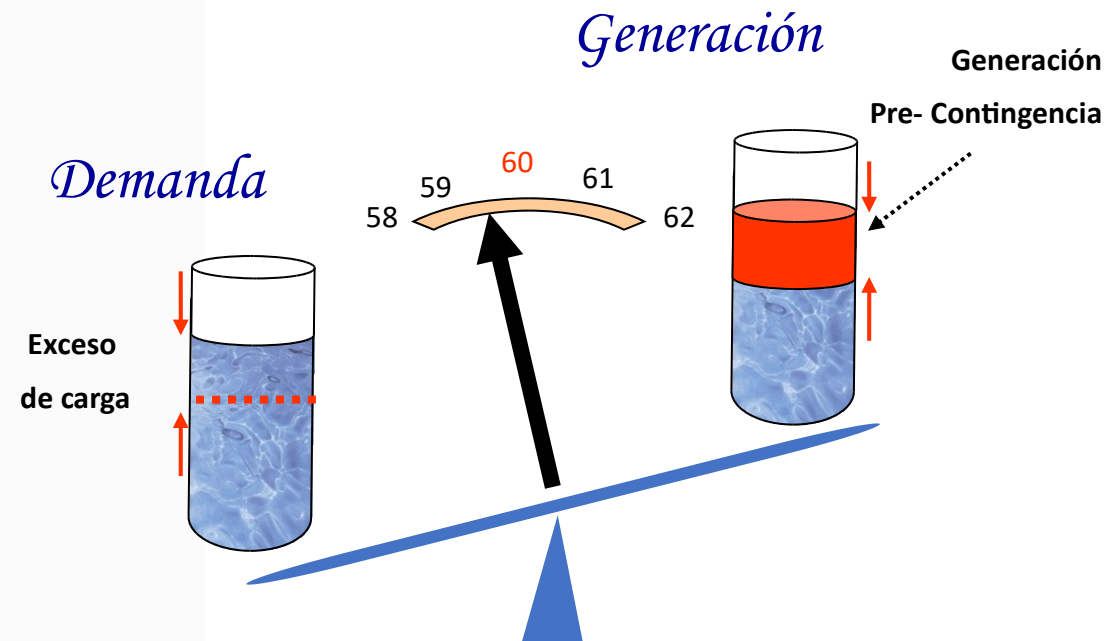
(A. Khalid et al., 2021)

# I. Introducción.

## Pérdida de Carga



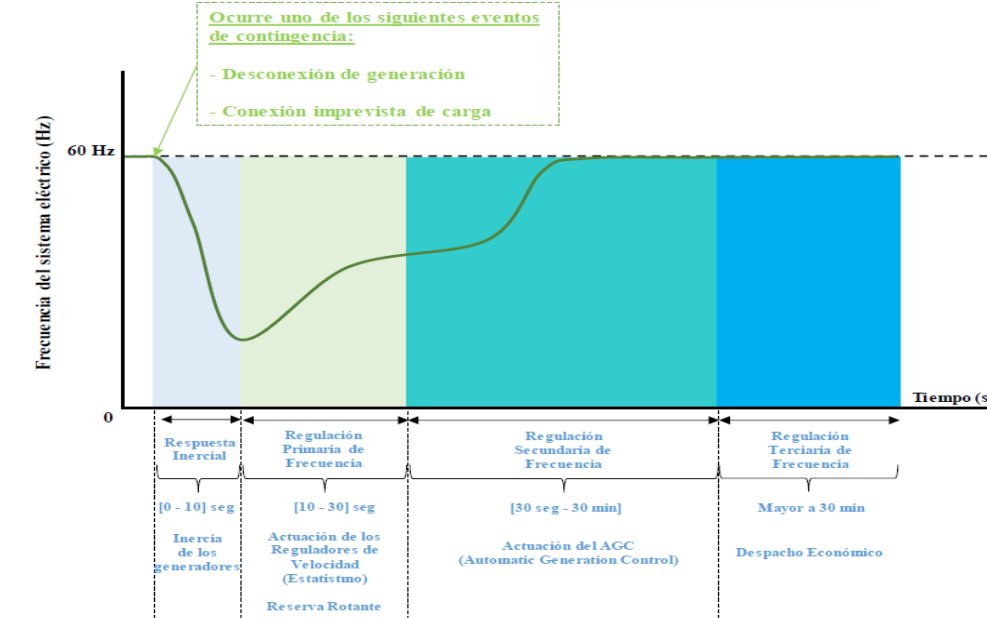
## Pérdida de Generación



# I. Introducción.

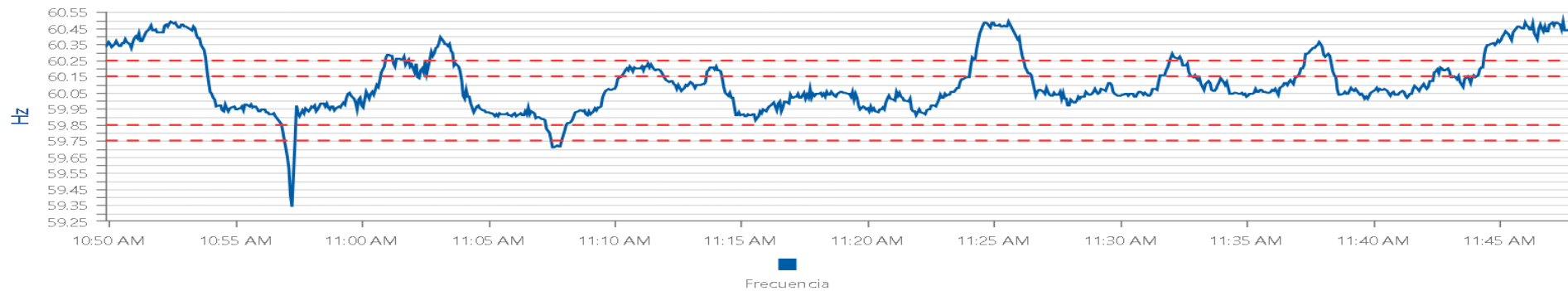
**Problema actual:** Tiempo de fluctuación de la generación fotovoltaica y respuesta de regulación de frecuencia del sistema. Esto requiere un sistema de respuesta rápida desde los milisegundos como el BESS.

## Respuesta en el tiempo de un sistema convencional en uso actual



## Frecuencia del SENI

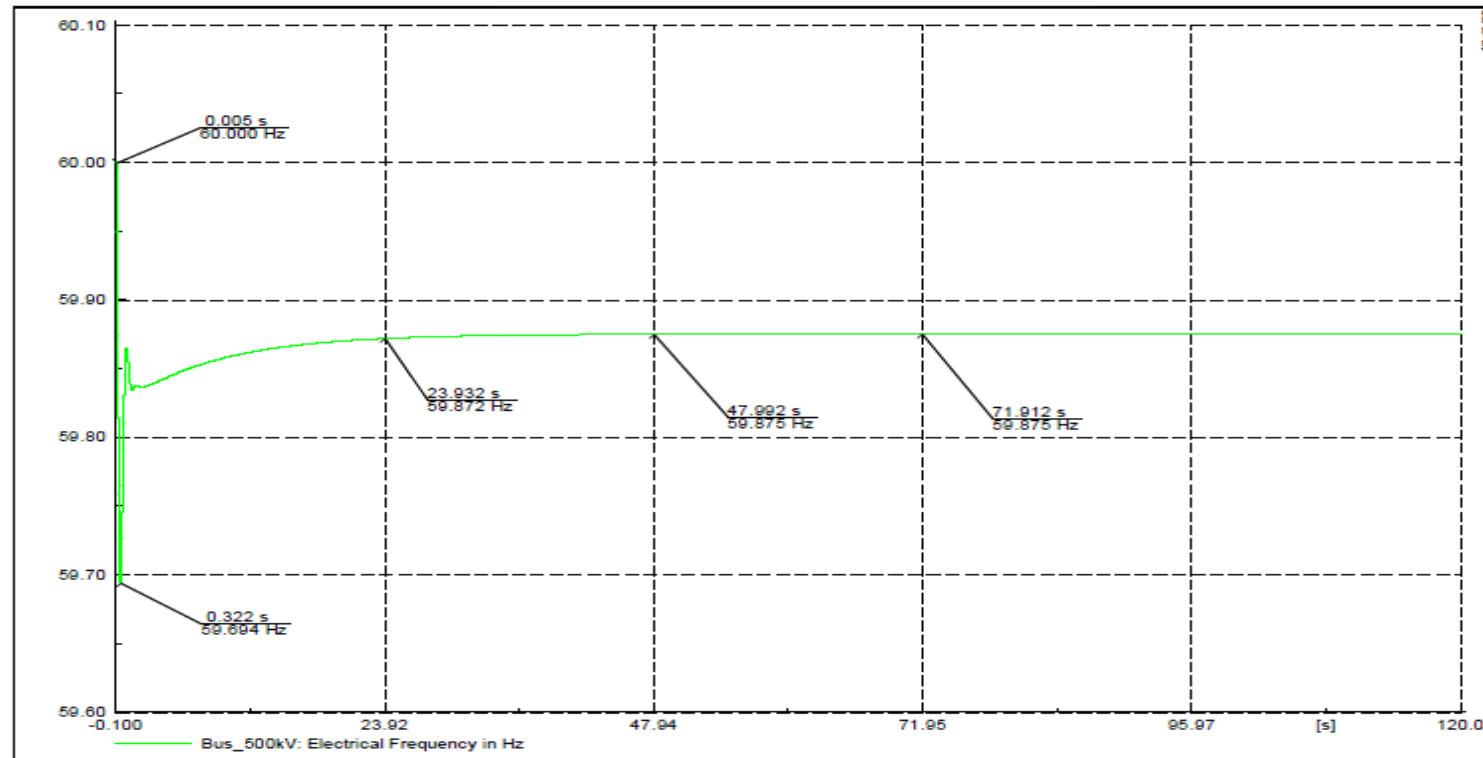
[ 03/23/2025 ]



# I. Introducción.

**Solución:** Un sistema de respuesta rápida en milisegundos a un segundo con un BESS.

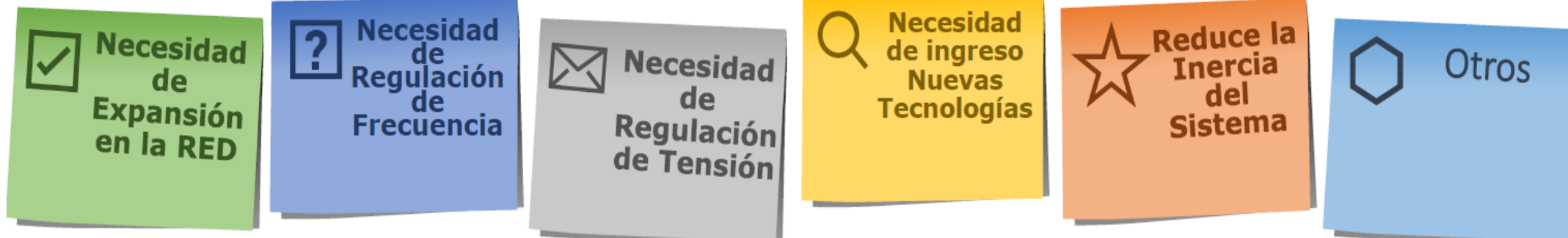
Respuesta en el tiempo de un sistema BESS.



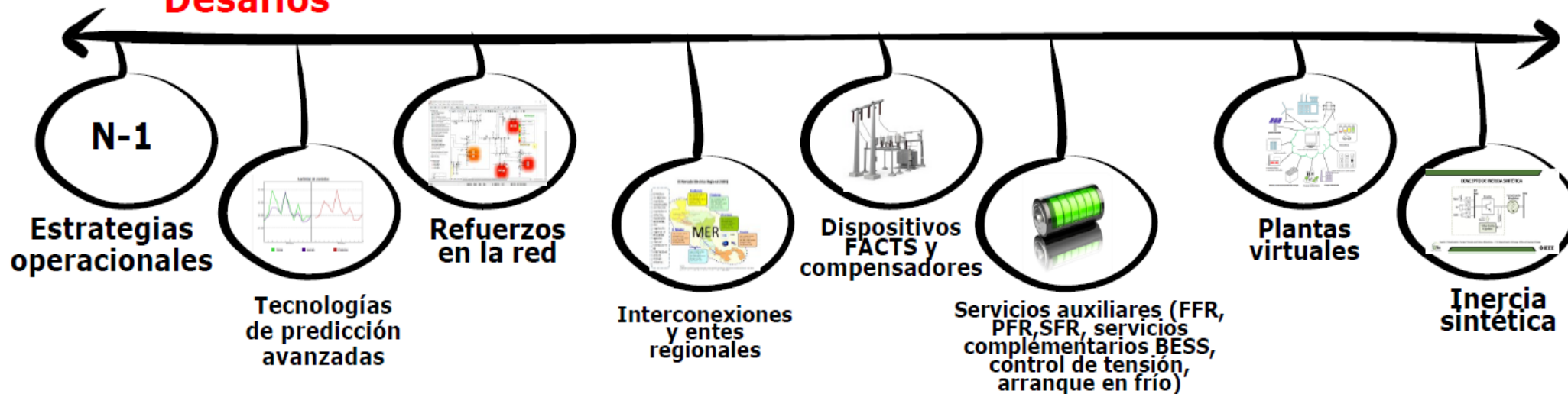
Fuente: Simulaciones dinámicas del DIGSILENT

# Mayor integración de Renovables

## Necesidades

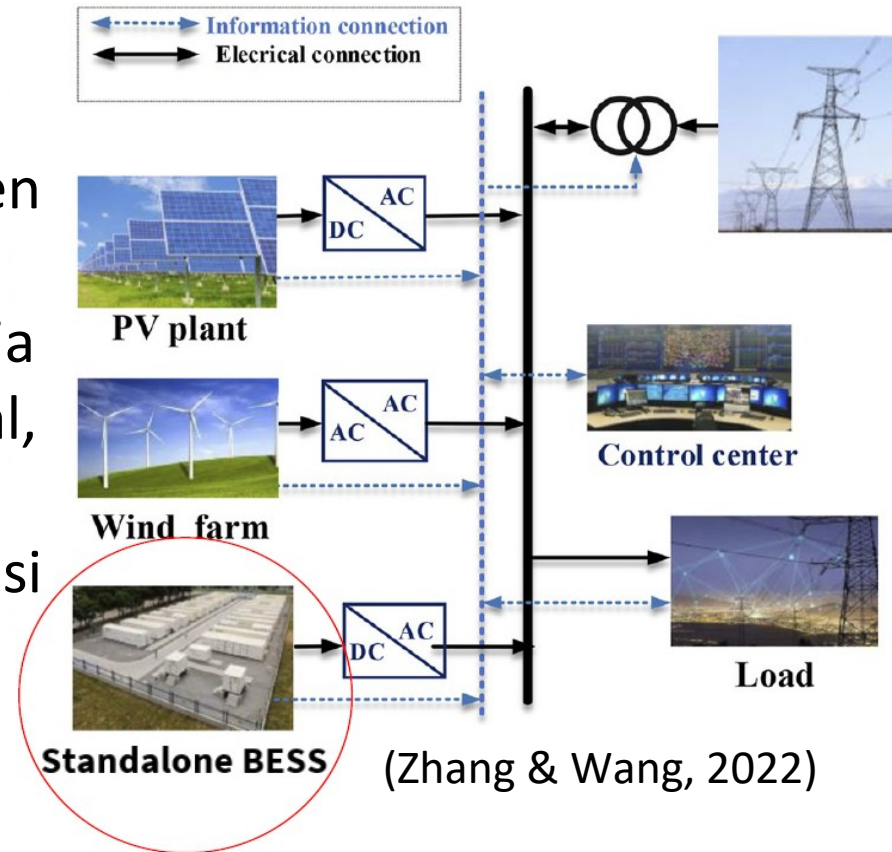


## Desafíos



### III. Operación Sistemas de Almacenamiento de Energía por Baterías Independientes (Stand Alone).

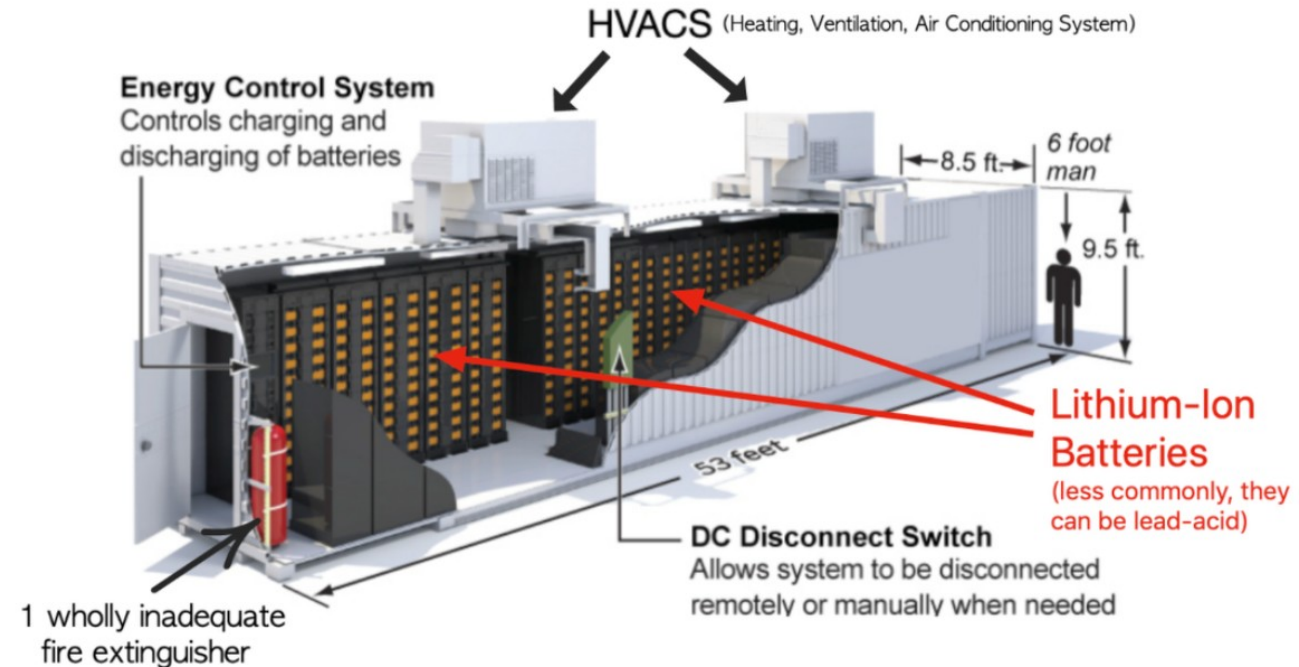
- "Stand Alone" se refiere a un modo de operación en el cual una microrred o un Sistema de Almacenamiento de Energía en Baterías (BESS) funciona de manera independiente y desconectada de la red eléctrica principal. Este modo también se conoce como "modo aislado" (islanded mode).
- A diferencia del modo conectado a la red, donde la frecuencia y el voltaje son generalmente mantenidos por la red principal, en el modo "**Stand Alone**", la microrred es susceptible a mayores desviaciones de frecuencia debido a su baja inercia si ocurre un desequilibrio entre la carga y la generación.
- En este modo, el BESS juega un papel crucial en el **control primario de frecuencia (PFC)** y en el mantenimiento de la estabilidad del voltaje. **Debe inyectar o absorber potencia rápidamente** para compensar los desequilibrios y mantener la frecuencia dentro de límites seguros.



# Resolución CNE-AD-005-2024

- ✓ La **Resolución CNE-AD-005-2024** que modifica la CNE-AD-0004-2023 busca incentivar la inversión privada en la generación de energía con ERV, integrando sistemas de almacenamiento (BESS) para el servicio de arbitraje de energía. Esto se alinea con los objetivos de la política energética nacional, incluyendo lo relacionado con las fuentes renovables.
- ✓ Para proyectos con capacidades instaladas igual o superior a 20 MWac y hasta 200 MWac con baterías (BESS), al menos un 50% de su capacidad en MWac deberá contar con una duración mínima de 4 horas de almacenamiento.
- ✓ Para instalaciones con potencias instaladas superiores a 200 MWac, requerirán de una evaluación previa realizada por la Comisión Nacional de Energía (CNE) que determine la idoneidad de esta, siempre velando por la confiabilidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado.

(CNE, 2024)



(Amp Nova, 2024)

## Tema IV

Ejemplo de un sistema BESS

(Harmony Energy, 2022)

Location	Cottingham, East Yorkshire
MW / MWh	98 / 196 (Lithium-ion)
Current Status	Operational (energised November 2022)
Developer / Asset Owner	Harmony Energy / HEIT
Technology System	Tesla two-hour Megapack
Transformers	Wilson Power Solutions
Algorithmic Trading Platform	Tesla – Autobidder



28 September 2023  
London, UK  
#StorageAwards

**Winner**

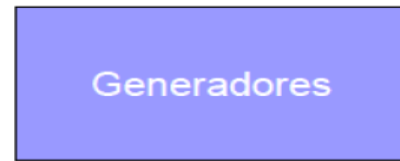
**Grid-scale Standalone  
Energy Storage  
Project of the Year**



# Transacciones Económicas de Potencia

## Flujo Cargos.

### Cobran

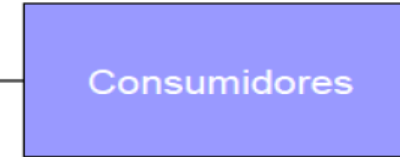


Ingreso = Potencia Firme  
 × Costo Marginal Potencia  
 × Factor nodo

Derechode Uso =  
 Valorización Retiros  
 - Valorización Inyecciones

### Pagan

Cargo = Demanda Potencia  
 × Costo Marginal Potencia  
 × Factor nodo



$$DC_{m,n} = PT_{m,n} - (DUE_{m,n} + DUP_{m,n})$$

Una oportunidad para mejorar y hacer resiliente el sistema eléctrico RD

# Recaudación por Peaje de Transporte

El Peaje de Transmisión se compone de dos elementos: el Derecho de Uso y el Derecho de Conexión.

El **Derecho de Uso** se determina mensualmente por el Operador del Sistema (OC) al efectuar las transacciones de energía y potencia, y se divide en dos partes: el Derecho de Uso de Energía y el de Potencia de Punta. El OC calcula este derecho conforme a lo establecido en el reglamento.

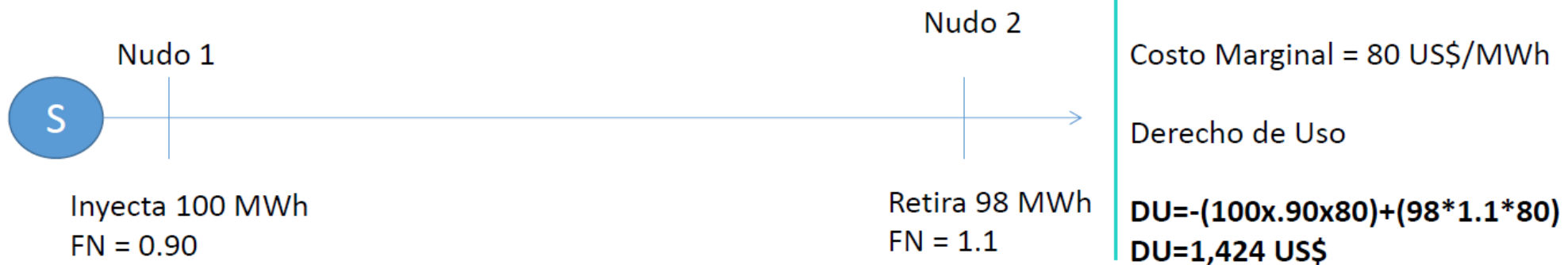
Por otro lado, el **Derecho de Conexión** también es calculado mensualmente por el OC, y se obtiene restando el Derecho de Uso al costo total anual del sistema de transmisión mensualizado. Este derecho se expresa en pesos dominicanos por kilovatio por mes (RD\$/kW-mes)

## REPARTO DE CARGOS DE TRANSPORTE

### APLICACIÓN DE PRECIOS DE NUDO.

- ❑ Derecho de Uso de Energía. Art. 262 RLGE.
- ❑ Derecho de Uso de Potencia. Art. 272 RLGE.

Ambos provienen de la suma de los Ingresos Tarifarios de las líneas de transporte al utilizar precios de nudo. Se corresponden con la suma de todos los saldos netos de las valorizaciones de las inyecciones y retiros de cada agente, con sus respectivos signos. **No Aplica** a nudo de la red.



## A MODO DE REFERENCIA

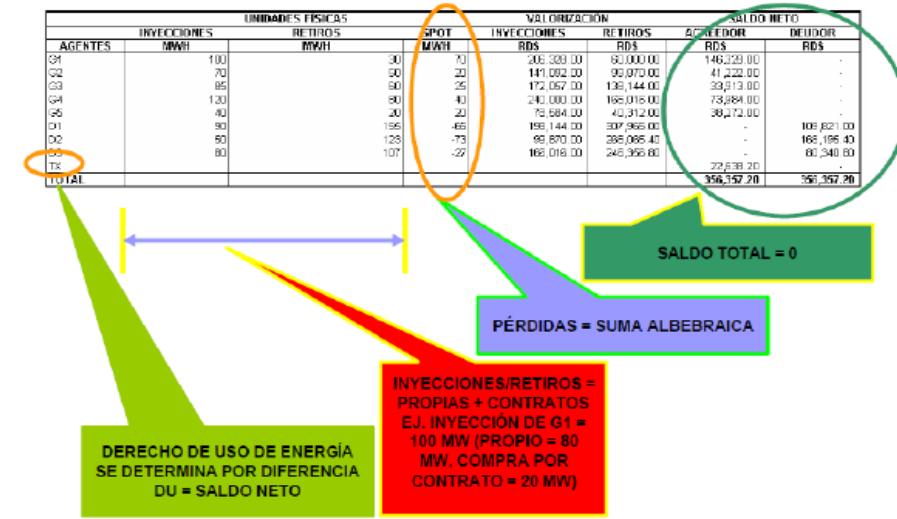
# REPARTO DE CARGOS DE TRANSPORTE

**Artículo 262.-** La valorización de las transferencias de energía y los correspondientes pagos entre Agentes del MEM en el OC, serán contabilizados por dicho organismo, en forma mensual, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- En las Barras en las cuales se realicen transferencias, se efectuará la medición y/o cálculo para determinar las inyecciones y retiros horarios de energía de cada Agente del MEM involucrado;
- La energía entregada y retirada por cada Agente del MEM será valorada multiplicando por el Costo Marginal de Corto Plazo la energía activa de la Barra correspondiente;
- Para cada Agente del MEM, se sumarán algebraicamente todas las inyecciones y retiros valorizados ocurridos en el SENI durante el mes. Las inyecciones se considerarán con signo positivo y los retiros con signo negativo. El valor resultante, sea éste positivo o negativo, constituirá el saldo neto acreedor o deudor, respectivamente, de cada Agente del MEM.
- La suma de todos los saldos netos a que se refiere el punto anterior, con sus respectivos signos, constituirá el Derecho de Uso de Energía Activa. Este Derecho de Uso será atribuido a los dueños del Sistema de Transmisión y constituirá un saldo neto acreedor si resulta negativo o un saldo neto deudor si resulta positivo, para efectos del pago entre Agentes del MEM.
- Cada Agente del MEM deudor pagará su saldo neto a los Agentes del MEM acreedores en la proporción en que cada uno de ellos participa en el saldo total acreedor.

BALANCE :

AGENTES	UNIDADES FÍSICAS			VALORIZACION			SALDO NETO	
	INYECCIONES MWH	RETIROS MWH	SPOT MWH	INYECCIONES RDS	RETIROS RDS	ACREEDOR RDS	DEUDOR RDS	
G1	100		30	30,300.00	60,000.00	146,329.00	-	
G2	70		20	141,092.00	99,870.00	41,222.00	-	
G3	85		25	172,067.00	136,144.00	35,923.00	-	
G4	130		40	240,000.00	166,016.00	73,984.00	-	
S5	40	20	20	75,584.00	43,312.00	32,272.00	-	
D1		90	156		156,144.00	-	108,821.00	
D2		60	128		99,870.00	-	168,196.40	
D3		80	107		166,016.00	-	80,340.80	
<b>TOTAL</b>						<b>356,357.20</b>	<b>356,357.20</b>	



$$ETED = - \sum_{\text{Agente}=ETED} \text{Balance\_Agente}$$

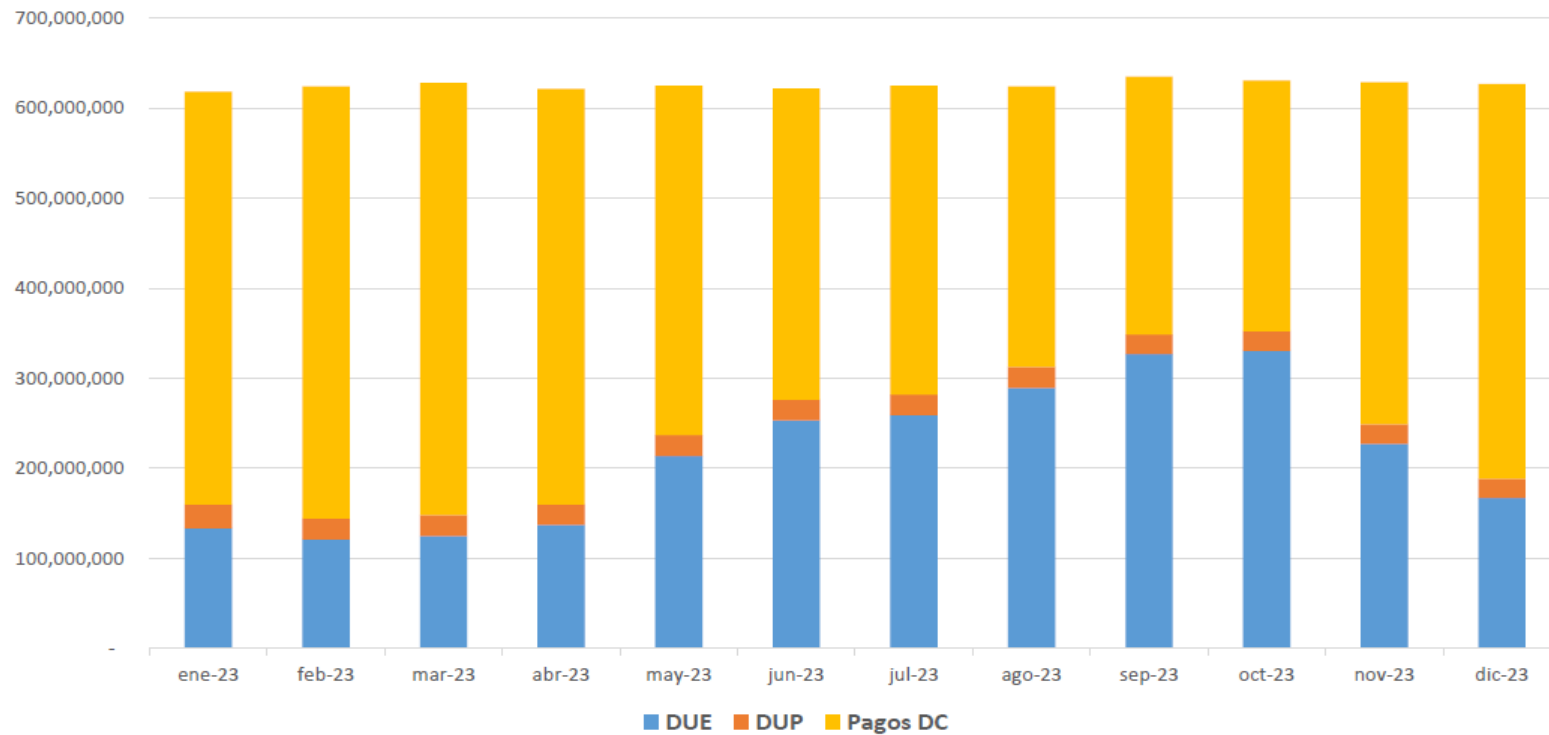


$$\text{PAGO}_{i,j} = \text{SALDO\_DEUDOR}_j \times \frac{\text{ACREEDOR}_i}{\sum_{i=1}^{\text{NA}} (\text{ACREEDOR}_i)}$$

Fuente: Presentación ing. Bello en IEUASD.

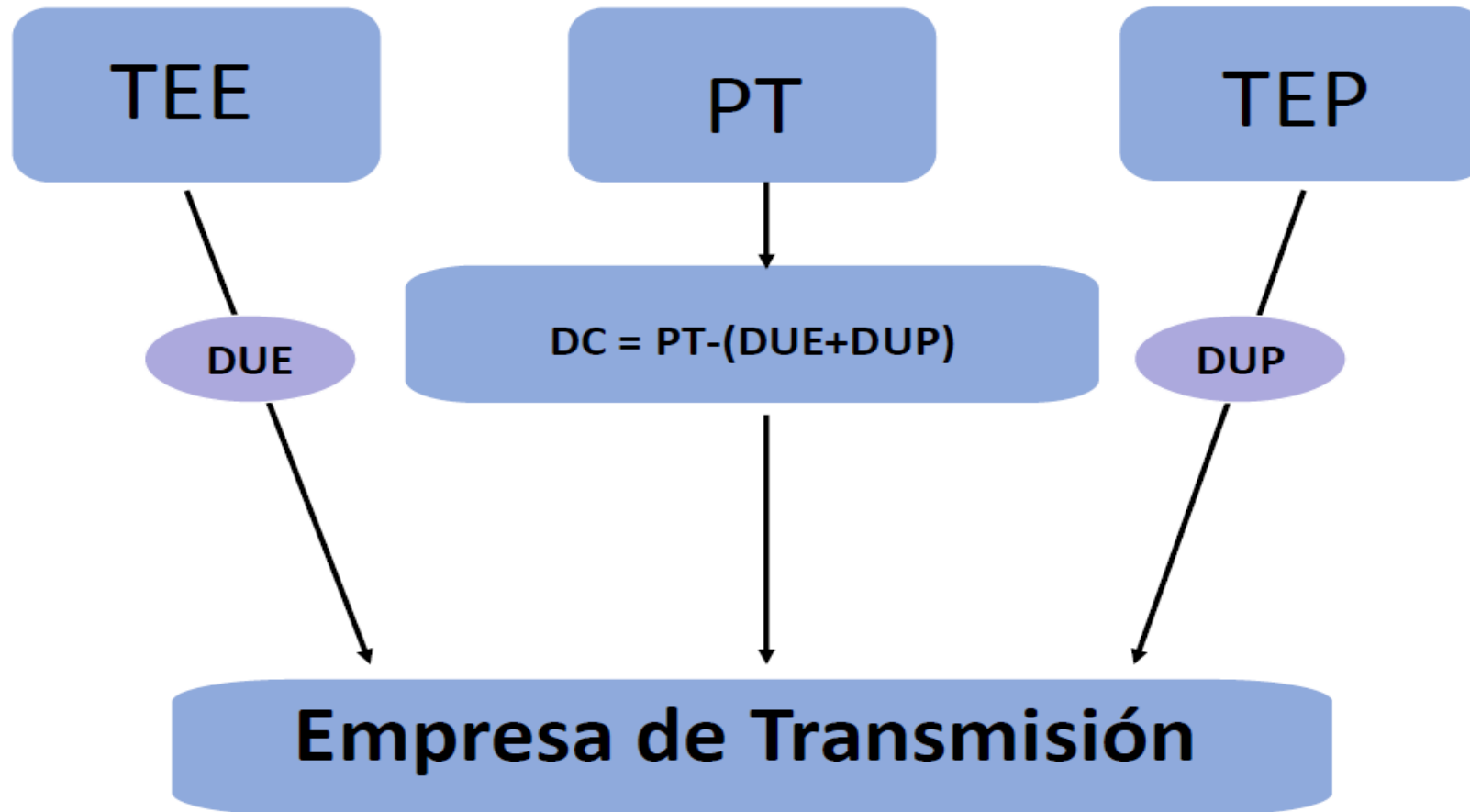
# REPARTO DE CARGOS DE TRANSPORTE

## Peaje de Transmision 2023



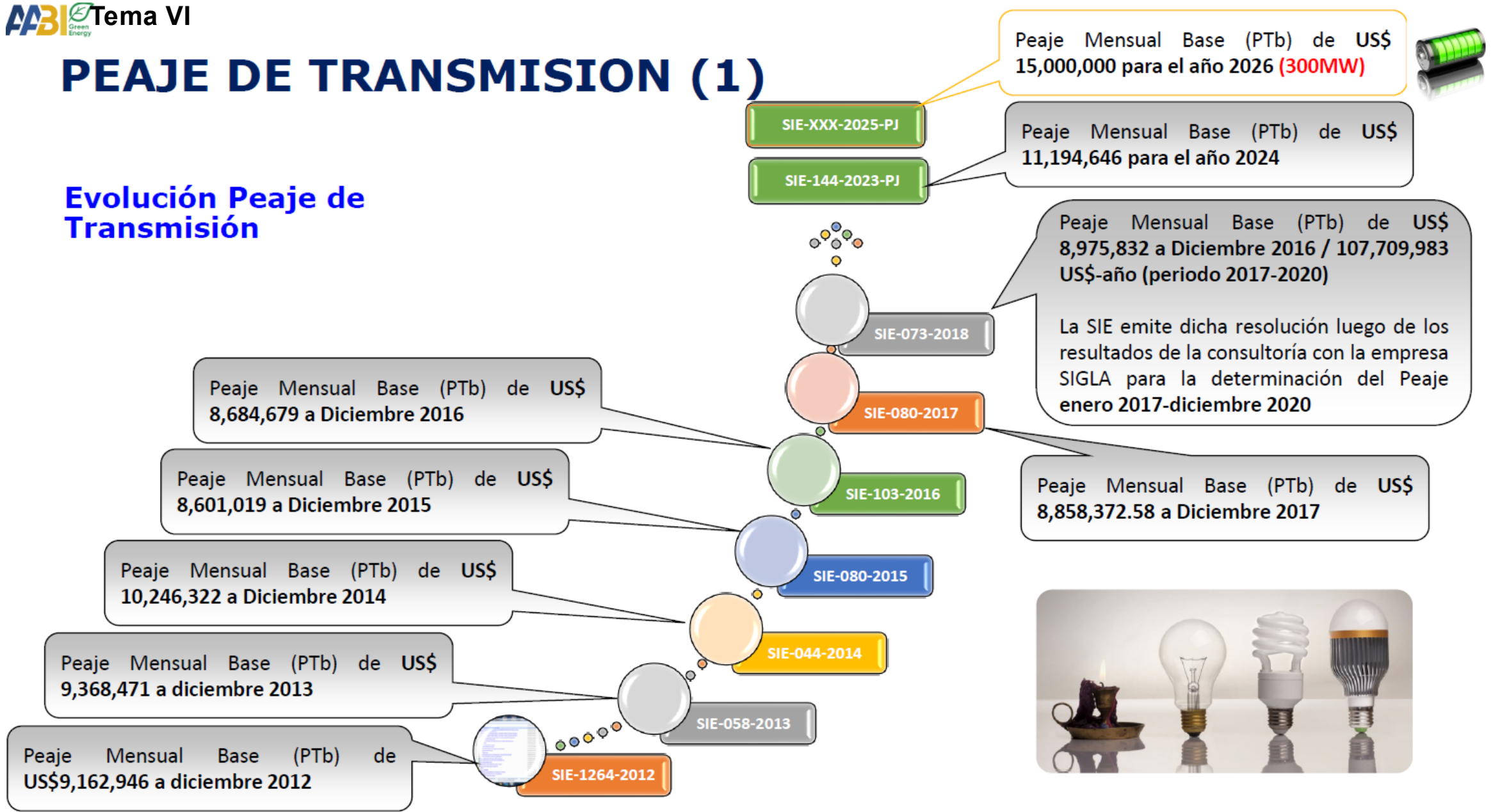
Fuente: Presentación ing. Bello en IEUASD.

## FLUJO DE CARGOS EN LAS TRANSACCIONES



# PEAJE DE TRANSMISION (1)

## Evolución Peaje de Transmisión



## Empresa de Transmisión -- Equipamiento para el control de tensión

**ART. 204. RALGE-** Regulación de Tensión.

Cada Empresa de Generación estará obligada a cumplir

con los siguientes mandatos:

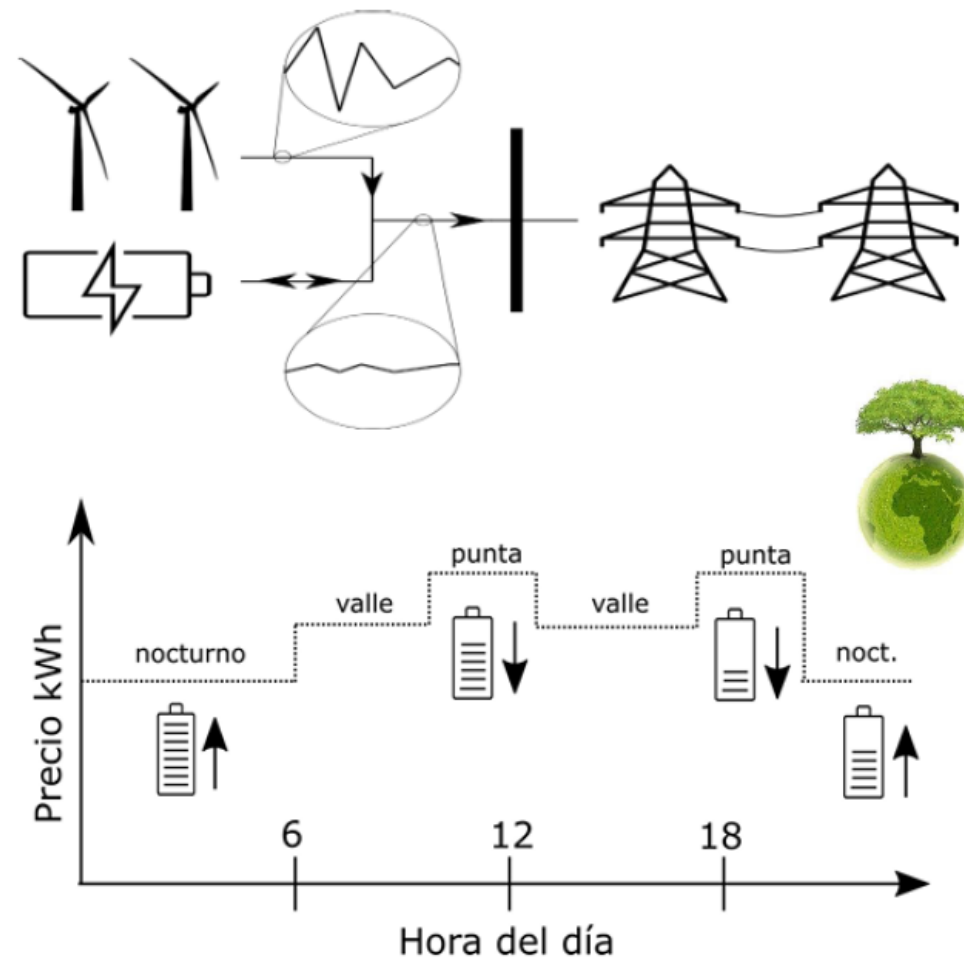
**a.** Entregar en forma permanente, hasta el noventa por ciento (90%) del límite de potencia reactiva, inductiva o capacitiva, en cualquier punto de operación que esté dentro de las características técnicas de la máquina, dadas por la curva de capacidad para la máxima capacidad de refrigeración.

**b.** Entregar en forma transitoria, el cien por ciento (100%) de la capacidad arriba mencionada durante veinte (20) minutos continuos, con intervalos de cuarenta (40) minutos.

**c.** Mantener la tensión en Barras que le solicite el OC.

La Empresa de Transmisión deberá poner a disposición del SENI todo el equipamiento para el control de tensión y suministro de potencia reactiva, incluyendo compensadores sincrónicos y estáticos y la reserva necesaria.

Fuente: Reglamento para la Aplicación de la Ley General de Electricidad, Número 125-01 Aprobado mediante Decreto No. 555-02, 2002.

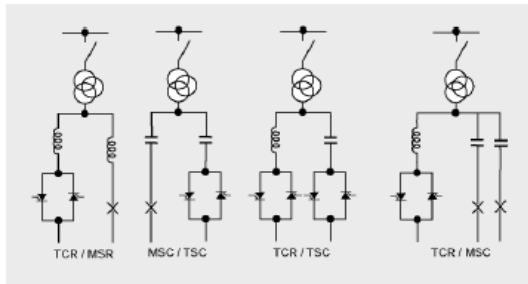


# EVOLUCIÓN EN EL USO DE RECURSOS PARA OPERACIÓN FLEXIBLE DE SISTEMAS DE POTENCIA



## MSC / MSR

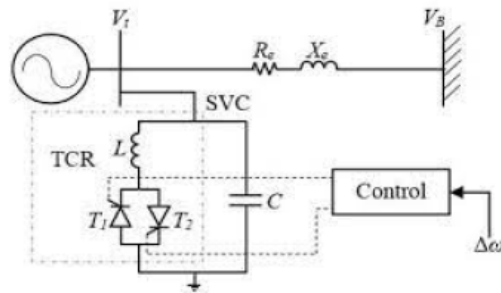
Mechanically Switched  
Capacitors / Reactors



Sólo Mvar

## Conventional SVC

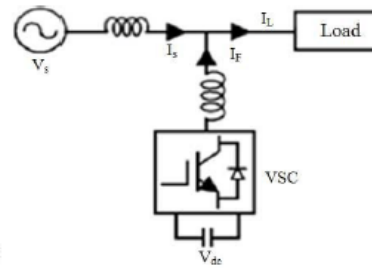
("Classic")  
Static VAR  
Compensator



Sólo Mvar

## STATCOM

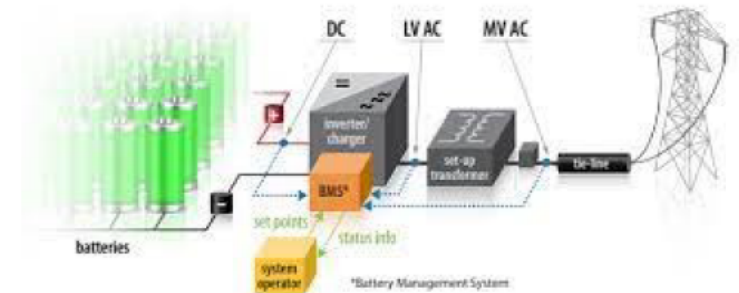
Static Synchronous  
Compensator



Sólo Mvar

## Baterías (BESS)

Battery Energy Storage  
System



MW y Mvar

La energía solar y eólica exigen una mayor flexibilidad del sistema

Fuente: Flexibilidad del sistema eléctrico para la transición energética, IRENA 2018  
<https://www.irena.org/> <https://www.youtube.com/watch?v=DMP-pxDfJlo&t=136s>

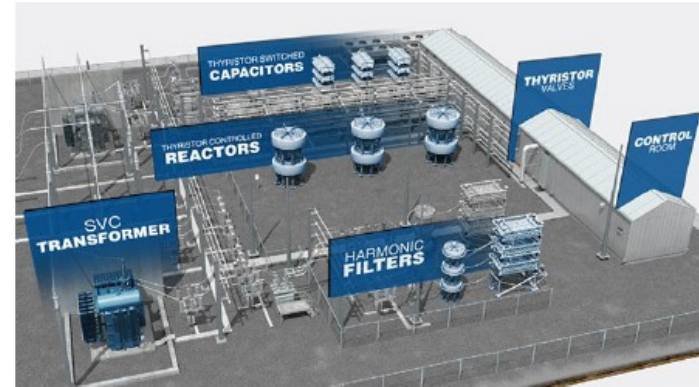
## Tema VII

# Empresa de Transmisión -- Equipamiento Sistema de Transmisión

## CAPITULO VII

### PEAJES DE TRANSMISIÓN

**ART. 357.RALGE-** La SIE, de conformidad con el artículo 85 de la Ley, **definirá mediante resolución las instalaciones que forman parte del Sistema de Transmisión** y además calculará y fijará el costo total de largo plazo para efecto del cálculo de Peaje de Transmisión.



## Dynamic Line Rating (DLC)

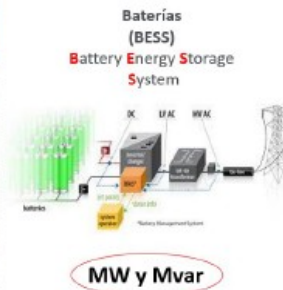


The completed installation of an Ampacimon real-time sensor on a transmission line conductor and a look at the inside of the sensor.

## FACTS



## SVC



## PMU's

Las unidades de medición fasorial (PMU) son un sistema tecnológico que facilita con gran precisión la observación del estado dinámico del sistema eléctrico de potencia. Los avances tecnológicos y las investigaciones en este campo, permiten mediante las PMU (Phasor Measurement Units), la obtención de flujos de tensiones y corrientes de forma sincrónica. Este artículo presenta los aspectos principales de los sistemas de medición fasorial y una sencilla historia sobre su evolución en el tiempo en la cual se muestra su organización. Finalmente, se describen algunas aplicaciones de estos dispositivos. Este artículo fue realizado gracias al apoyo de Colciencias en el programa Jóvenes Investigadores e Investigadoras Virginia Gutiérrez de Pineda.

**Palabras clave**  
PMU; unidad de medición fasorial; flujos; sincronización; smart grid.

Fuente: Reglamento para la Aplicación de la Ley General de Electricidad, Número 125-01 Aprobado mediante Decreto No. 555-02, 2002.

## Tema VIII

ESTIMADO TIEMPO  
DE RECUPERACIÓN  
DE LA INVERSIÓN  
BESS EN BASE AL  
PAGO POR  
REGULACIÓN DE  
FRECUENCIA SENI

### ESTIMADOS

#### Producción

Capacidad a instalar (MW)	300
Inversión (US\$)	48,000,000.00
Instalación (US\$)	5,000,000.00
<b>Costo total proyecto (US\$)</b>	<b>53,000,000.00</b>

#### INGRESOS

Ingresos por año (US\$)	19,820,000.00
-------------------------	---------------

#### GASTOS OPERATIVOS

O&M (US\$)	1,200,000.00
------------	--------------

<b>Balance (US\$)</b>	<b>18,620,000.00</b>
-----------------------	----------------------

#### CAPEX

Amortización CAPEX (US\$)	18,619,298.16
---------------------------	---------------

<b>Tiempo amortizar préstamo</b>	<b>42 meses</b>
----------------------------------	-----------------

**Tiempo de ejecución: 2 años.**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hay innegables ventajas de regular la frecuencia del SENI a partir del BESS. La respuesta en el tiempo de este tipo de equipo es mucho mas rápida que la realizada por las plantas térmicas y ayuda a mantener la frecuencia ante las oscilaciones que producen los grandes sistemas fotovoltaicos conectados a la red de transmisión.

En la actualidad es muy frecuente la actuación del Esquema de Deslastre Automático de Carga (EDAC) por subidas y bajada de las plantas fotovoltaicas, por lo que se requiere mejorar sustancialmente la capacidad de respuesta de regulación de frecuencia primaria y secundaria, y hasta terciaria, y eso solo se puede conseguir con BESS independientes (standalone) instalados en, o cerca, de subestaciones de transmisión. Siendo esto de paso un buen negocio para la ETED, constituyendo proyectos de fácil acceso a financiamientos.

Por esto es conveniente profundizar esta investigación para que las autoridades que rigen el sistema eléctrico dominicano asuman el estudio de factibilidad correspondiente para su implementación inmediata.

En la actualidad se requieren instalar tres BESS de 100 MW ubicados en las subestaciones del 15 de Azua, Cabreto y Navarrete.

# Gracias



## Contactos:

**Wilson Suárez Fernández. M.Sc. Ing., Doctor**  
Correo electrónico: [wsuarez24@uasd.edu.do](mailto:wsuarez24@uasd.edu.do)  
Teléfono móvil: 1-829-930-7218

**José Luis Moreno San Juan, M.Sc. Ing., Doctor**  
Correo electrónico: [jmoreno91@uasd.edu.do](mailto:jmoreno91@uasd.edu.do)  
Teléfono móvil: 1-809-543-0179