

# ¡Hola!

Todo está conectado

y todo lo conectamos con la energía que quieres





# Sistemas Fotovoltaicos

EXPOSOLAR  
2023

Control Efectivo  
de la Reactiva

**Todo está conectado**  
y todo lo conectamos con la energía que quieres

**Todo está conectado**  
y todo lo conectamos con la energía que quieres

## Tabla de contenido

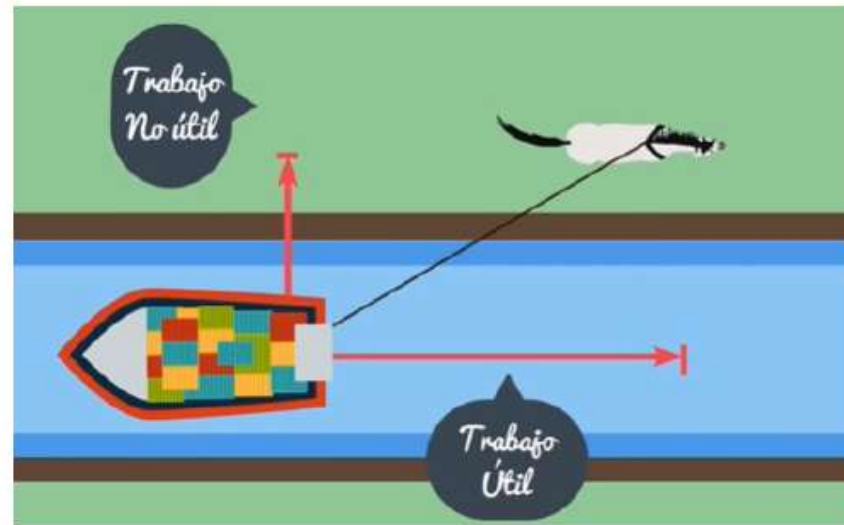
- 1) Conceptos Básicos.
- 2) Marco regulatorio.
- 3) Proyección de consumo de la red del OR con fotovoltaico.
- 4) Posibles Soluciones



# 1 Conceptos Básicos

## ENERGIA REACTIVA

- La energía reactiva es un tipo de energía eléctrica, que absorben de la red algunos equipos eléctricos como **motores, transformadores, hornos de inducción, iluminación fluorescente, entre otros**. Esta energía afecta el proceso de Distribución, ya que incrementa las pérdidas en las redes eléctricas, por esta razón se penalizan los excesos de consumo de este tipo de energía.



- El operador debe sobredimensionar la capacidad de las líneas de distribución para transportarla.
- Los Sistemas Solares para autoconsumo disminuyen la cantidad de Energía Activa que se consume de la red, pero no siempre se configuran para generar energía reactiva para compensar el desbalance.



# 2 Marco Regulatorio

# Marco Regulatorio



## ¿Qué norma lo regulo?

**Resolución CREG 015 de 2018** Se adicionó el cálculo de la variable “M”, la penalización de reactiva cuando no existe energía activa y la penalización de energía reactiva capacitiva.



## ¿Y esos pagos a donde van ?

**Resolución CREG 015 de 2018** La mitad de los valores facturados se otorgan al Operador de Red por el uso de sus redes en el transporte de energía y la otra mitad reducen la tarifa de todos los clientes



## ¿Y las modificaciones?

**Resolución CREG 199 de 2019** Teniendo en cuenta el impacto para los clientes finales en su factura por las nuevas reglas de penalización de energía reactiva, la CREG decidió otorgar un periodo de gracia de 12 meses contados a partir de enero 2020 y modificar la cantidad de veces para reiniciar la variable M.

**Resolución CREG 195 de 2020** Nuevamente la CREG decidió otorgar un periodo de gracia de 12 meses contados a partir de enero 2021.

# Marco Regulatorio

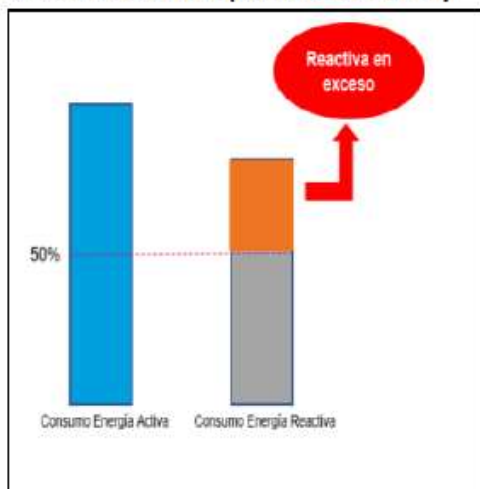
Se considera excesos de reactivo cuando:

1. El consumo de Energía Reactiva es superior al 50% de la energía activa consumida para ese periodo horario.

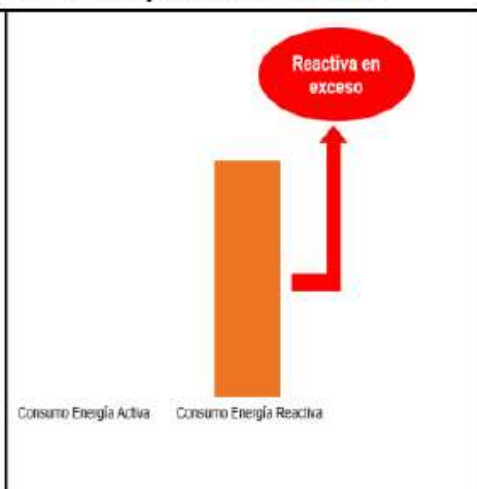
2. Totalidad de la Energía Reactiva Capacitiva (Entregada a la red).

El valor a penalizar por cada kVarh corresponde al cargo por uso del sistema de distribución correspondiente a cada cliente.

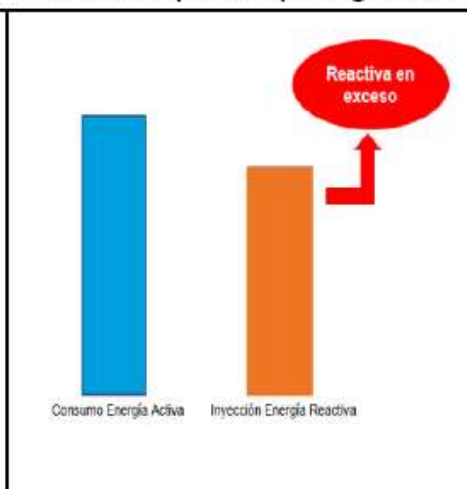
Exceso 50% activa (tomada de la red)



Sin activa y consumo reactiva



Reactiva capacitiva (entrega a la red)



Fórmula para liquidar el transporte de energía reactiva

$$CTER_{u,n,h,m,j} = ER_{u,h,m,j} * M * D_{n,h,m}$$

1. Energía reactiva transportada en exceso en cada periodo horario.

2.  $M$  = Variable asociada a los meses de transporte de energía reactiva en exceso

3.  $D_{n,h,m}$  = Cargo por uso del sistema de distribución correspondiente a cada cliente



# Marco Regulatorio – Factor M



La Variable M puede variar entre 1 y 12.



Cuando el transporte de la energía reactiva en exceso se presente durante cualquier periodo horario en diez (10) días o menos en un mismo mes calendario, la variable M seguirá en 1.



Cuando el transporte de la energía reactiva en exceso se presente en cualquier periodo horario en once (11) días o más en un mismo mes calendario, se cuenta el mes.



La variable M se incrementará mensualmente en una unidad hasta alcanzar el valor de 6. Si se mantiene durante 12 meses continuará incrementándose hasta llegar el valor de 12.



Si la condición desaparece durante más de tres (3) meses consecutivos, la variable reiniciará a partir de 1.

Mes	10 días con penalidad?	M
1	Si	1
2	Si	2
3	No	2
4	Si	3
5	Si	4
6	Si	5
7	Si	6
8	No	6
9	No	6
10	Si	6
11	Si	6
12	Si	6
13	Si	6
14	Si	6
15	Si	6
16	Si	6
17	Si	6
18	Si	6
19	Si	7
20	Si	8
21	Si	9
22	Si	10
23	Si	11
24	Si	12
25	Si	12
26	No	12
27	No	12
28	No	1
29	Si	2
30	Si	3
31	Si	4

# Marco Regulatorio – Autogeneradores SFV

Recordemos:

- Autogeneradores a pequeña escala (AGPE) – Autogenerador con capacidad instalada menor o igual a 1MW.
- Autogenerador a Gran Escala (AGGE) – Autogenerador con capacidad instalada mayor a 1MW.

## AGPE

Decreto 0929 de 7 de Junio 2023 del Ministerio de Minas y Energía

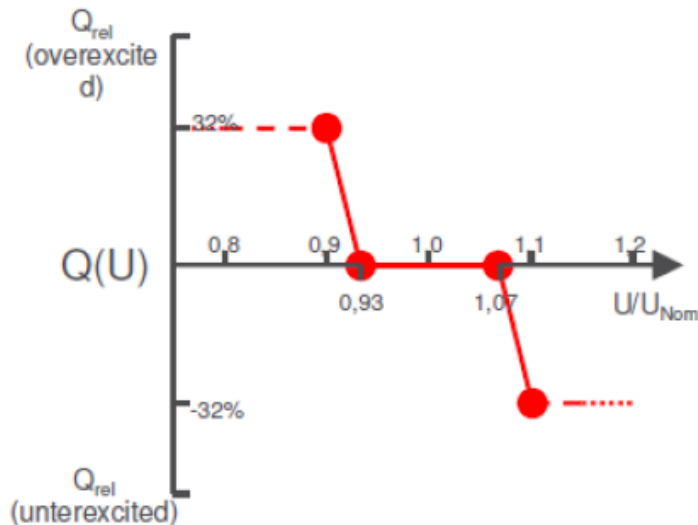
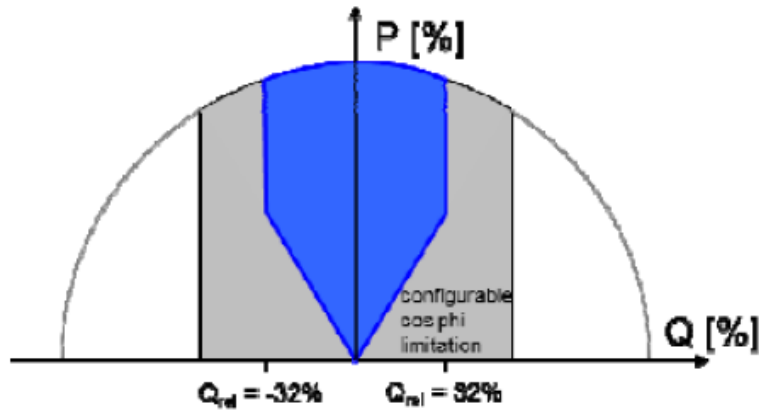
ARTÍCULO 2.2.3.2.4.9. Remuneración de excedentes de energía. Parágrafo 2:  
*Los usuarios que cuenten con sistemas de autogeneración a pequeña escala a partir de FNCER están exentos del cobro de energía reactiva*

## AGGE

- (1MW – 5MW) (NT 1,2,3) – Condiciones del control de tensión las define el OR – según la capacidad de aporte al control declarada por el Autogenerador (CREG 101-011)
- Mayor a 5MW (NT 1,2,3) – Condiciones del control las regula CREG 148-2020.
- Cualquier potencia (NT4) – Las condiciones de control de tensión las regula CREG 060-2019

•	• ¿Aplica cobro?			• Nota
	• Induc tiva	• Capac itativa	• Fact M	
<b>• Autogeneradores y Cogeneradores</b>				
• Autogeneradores a Pequeña Escala (AGPE) con FNCER, con o sin entrega de excedentes	• No*	• No*	• No*	• No se requiere nada para la exención, adicional a que tenga aprobación de conexión tramitada con el OR como AGPE. • (*) Hasta que la CREG no reglamente algo diferente, se exonera del cobro las 24 horas.
• Autogeneradores a gran escala (AGGE) o AGPE que no son FNCER, con entrega de excedentes	• No*	• No*	• No*	• Se eximen del cobro de reactiva, previa verificación de condiciones de control de tensión al equipo de operación.
• Autogeneradores a gran escala (AGGE) o AGPE que no son FNCER, sin entrega de excedentes	• Si	• Si	• Si	• No tienen frontera de generación, no aportan al control de tensión. • Les aplica la regla según el tipo de cliente que sea.

# Control de Tensión



“Se exceptúa de pago del costo de transporte de energía reactiva a las plantas generadoras, las cuales que están obligadas a participar en el control de tensión por medio de la generación o absorción de potencia reactiva (...)”

No existe un procedimiento explícito y/o documentación a entregar en la regulación para que un autogenerador a pequeña escala participe en el control de tensión y sea exonerado del cobro de energía reactiva de la que trata la Resolución CREG 015 - 2018. En enero 2023, se publicó en borrador la propuesta de regulación que se exigiría a los AGPE que de manera opcional quieran aportar al control de tensión y por tanto estar excepto del coro de reactivas.

La función del OR realizar el control de la red, por tanto, este solicitará la información para validar las capacidades de los usuarios que deseen participar en control de tensión y deberá indicarle los ajustes correspondientes y realizar las pruebas y/o validaciones del funcionamiento del control.



celsia.com

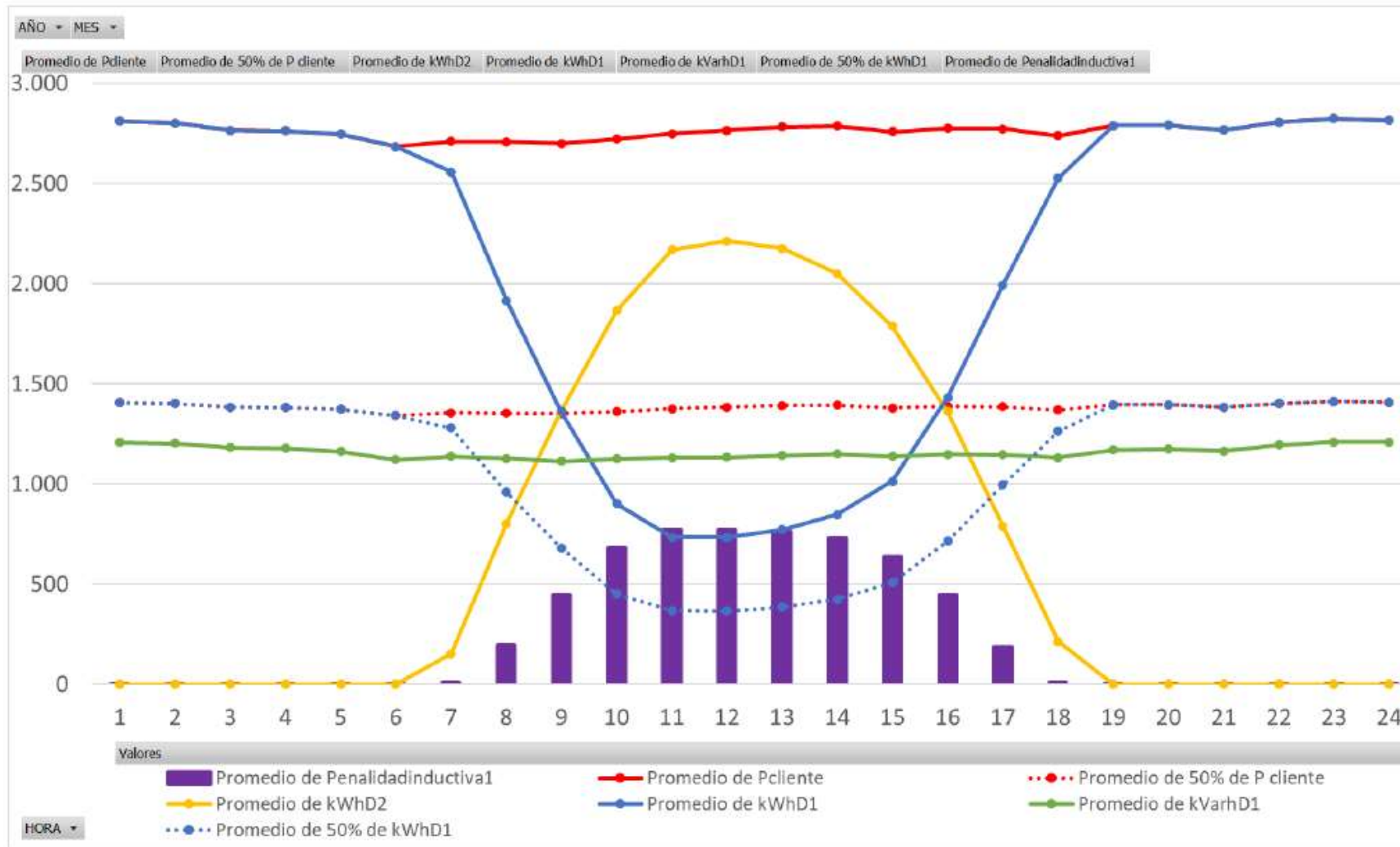


# 3

## Caso de Estudio

# Proyección de consumo de la red del OR con Fotovoltaico FP=1.0

A continuación se muestra el promedio horario de P y Q demandado de la red, consumido por la carga y generado por el SFV FP=1,0



La curva roja es la demanda de P de la carga que antes se consumía toda de la red del OR

(la curva roja punteada era el 50% de P demandada de la red)

La curva amarilla es la generación de P del sistema fotovoltaico

La curva verde es la demanda de Q de la carga. (Esta Q se sigue consumiendo de la red del OR dado que el SFV no genera reactiva)

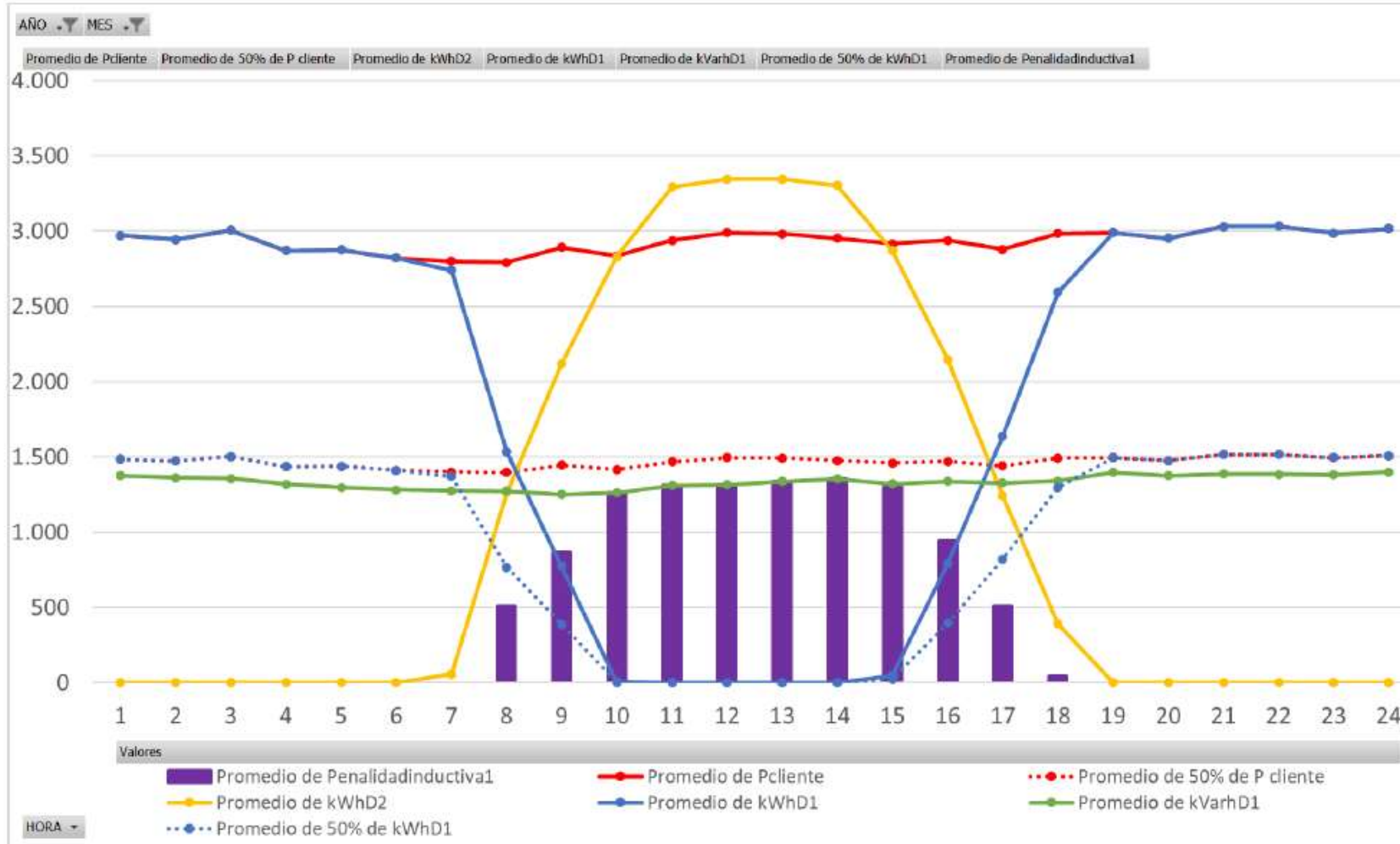
La curva azul es el nuevo consumo de la red del OR. La cual disminuye a medida que aumenta la generación solar (La curva azul punteada es el nuevo 50% de P demandada de la red.)

Las barras moradas representan la penalidad por exceso de consumo de energía reactiva – reactiva inductiva.

- Dado que el consumo de P la red del O.R disminuye en las horas que el fotovoltaico se encuentra generando, es mas probable que el consumo de Q supere el nuevo 50% de demanda de P y en consecuencia se presente penalidad por exceso de consumo de reactiva. La curva verde supera la curva Azul punteada.

# Proyección de consumo de la red del OR con Fotovoltaico FP=1.0

A continuación se muestra la proyección horaria de P y Q demandado de la red, consumido por la carga y generado por el SFV FP=1.0 para el día 10/04/2022



La curva roja es la demanda de P de la carga que antes se consumía toda de la red del OR (la curva roja punteada era el 50% de P demandada de la red)

La curva amarilla es la generación de P del sistema fotovoltaico

La curva verde es la demanda de Q de la carga. (Esta Q se sigue consumiendo de la red del OR dado que el SFV no genera reactiva)

La curva azul es el nuevo consumo de la red del OR. La cual disminuye a medida que aumenta la generación solar (La curva azul punteada es el nuevo 50% de P demandada de la red.)

Las barras moradas representan la penalidad por exceso de consumo de energía reactiva - reactiva inductiva.

- Como se observa hay horas en los que la generación solar excede la demanda de la carga de P del cliente, por lo que la energía demandada de la red del O.R es cero (El 50% de cero es cero!!!!) lo que significa que toda la demanda de energía reactiva, se convierte en penalidad inductiva.
- El exceso de energía activa que no se consume la carga, se exportan a la red.



# 4

Posibles  
Soluciones

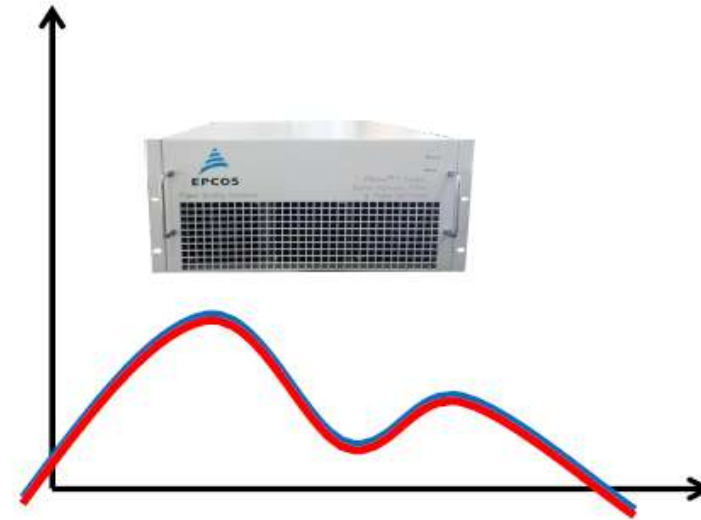
# Algunos bancos de compensación de Energía reactiva encontrados en el mercado

## Banco de Capacitores a Pasos



La solución de bancos de condensadores (o desincronizado) no debería ser la primera alternativa a considerar aunque sea la más económica, puesto que su implementación puede traer inconvenientes en calidad de la energía (armónicos, ferresonancia o horas de vida útil limitadas)

## Solución Dinámica DVG

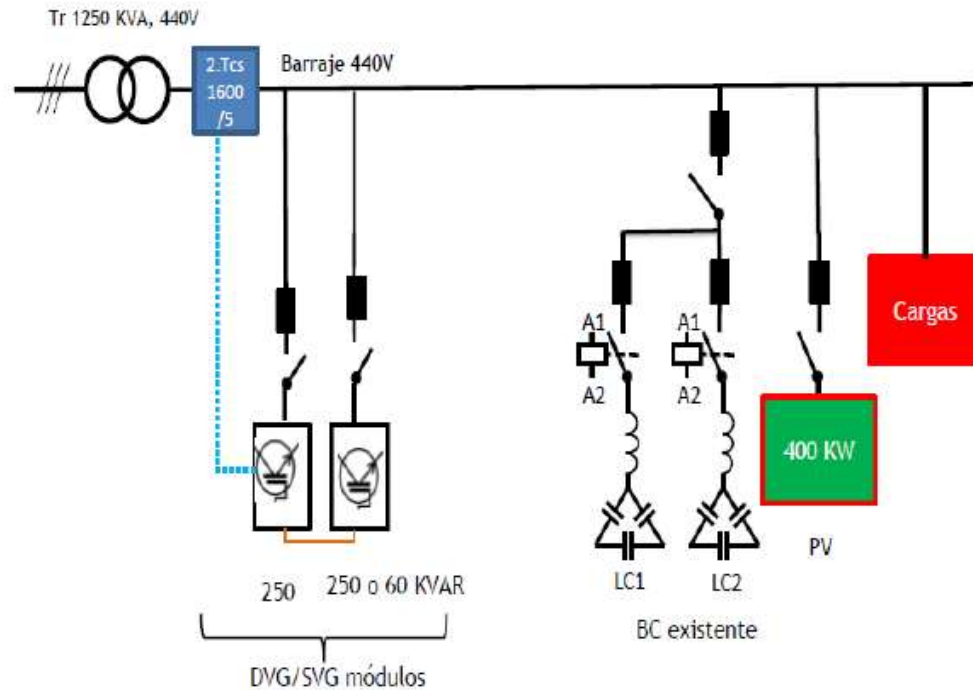


- ✓ Al ser considerado como una Fuente de corriente, no sub ni sobrecompensa
- ✓ Rápido, reacciona en menos de 50  $\mu$ s, y responde en menos de 15 ms.
- ✓ No afecta la respuesta en frecuencia al no tener condensadores ni reactancias.
- ✓ **Compensa tanto reactiva inductiva como capacitiva.**
- ✓ Ayuda a regular la tensión y a compensar los sags o huecos de tensión.
- ✓ Al ser una solución de estado sólido, ocupan poco espacio.
- ✓ Requiere mayor inversión que un banco de capacitores convencional.



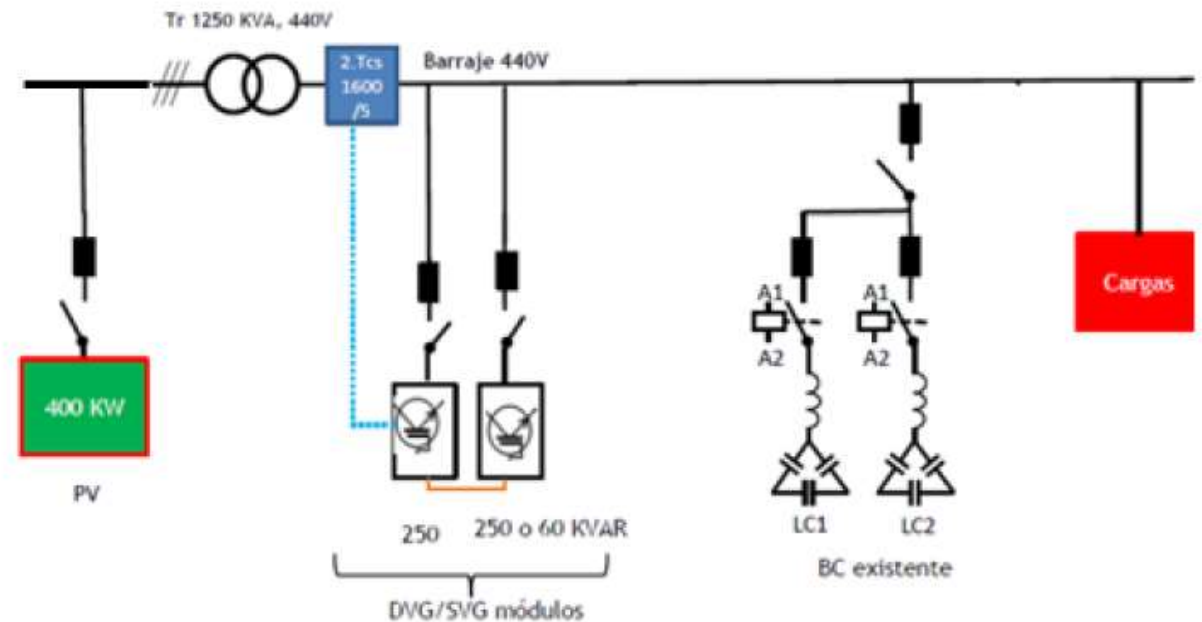
## Caso 1

El SFV conectado en el mismo tablero de carga. La solución de compensación de reactivos instalada en el tablero compensa tanto por la carga como por la generación.



## Caso 2

El SFV está conectado por MT. La solución de compensación de reactivos instalada en el tablero compensa la carga, pero no compensa la generación. La penalidad seguirá existiendo en la frontera.



**El punto de control importa.**

# Inversores Inteligentes (Smart Inverter)

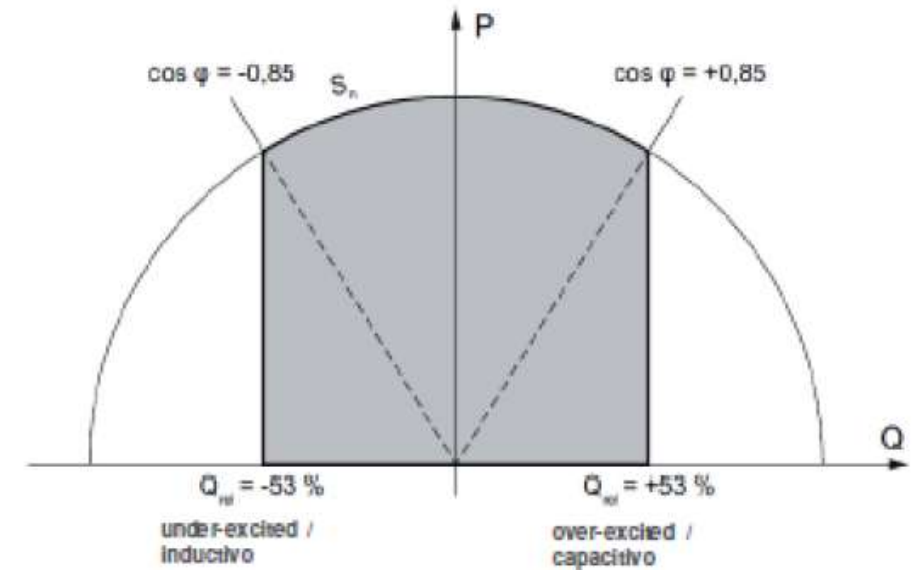
Los inversores inteligentes ofrecen :

## Funciones de Protección

- Protección de sobre y baja tensión
- Protección de frecuencia de red
- Protección anti-isla
- Detección de fallas por arco.
- Continuidad de operación ante anomalías temporales de la red "Fault Ride Through" (LVRT, HVRT)

## Funciones de control

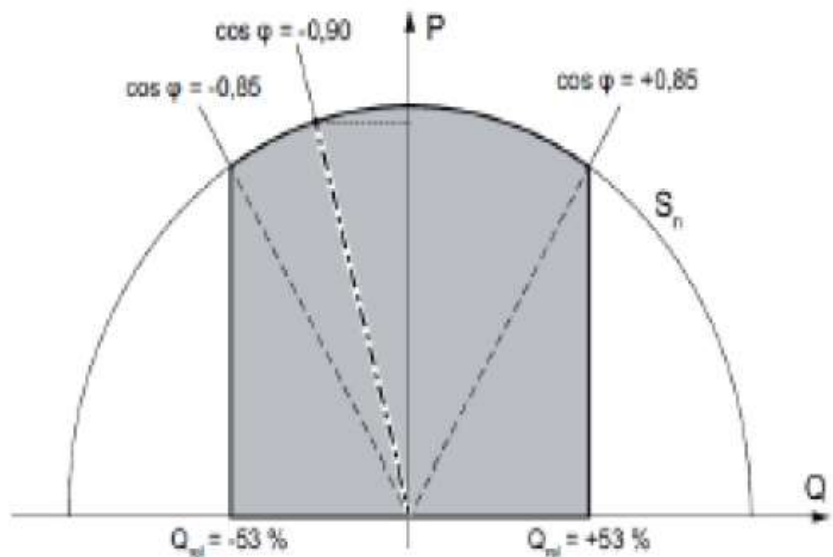
- Control de generación en potencia activa y reactiva,
- Arranque suave post falla,
- Gradiente de generación,
- Limitación de potencia
- Generación de reactivos en las noches,
- Regulación de inyección de activos y reactivos,
- FP variable
- Control Q-V



# Modo de Control Q del Inversor

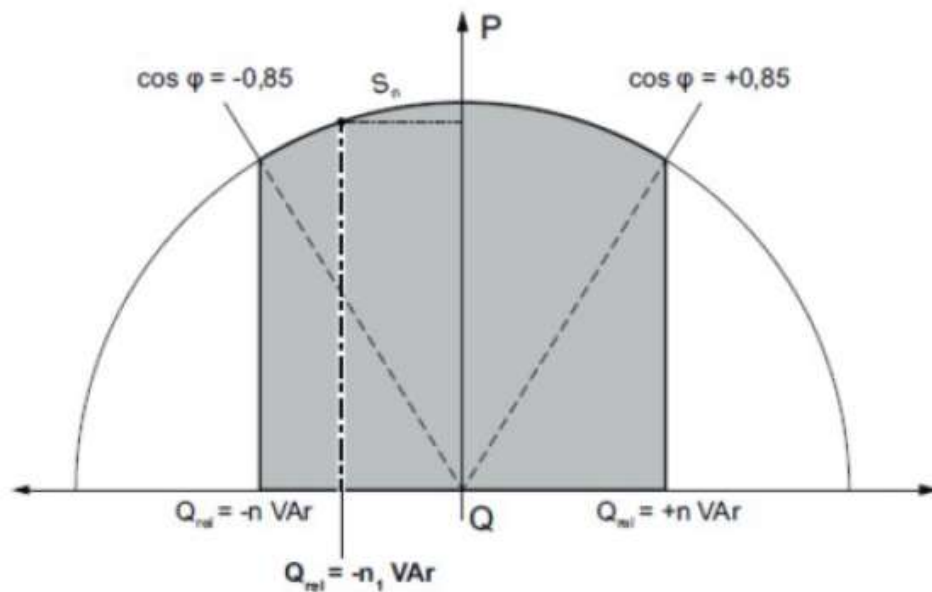
## Control Factor de potencia Fijo.

El equipo opera bajo un factor de potencia definido.



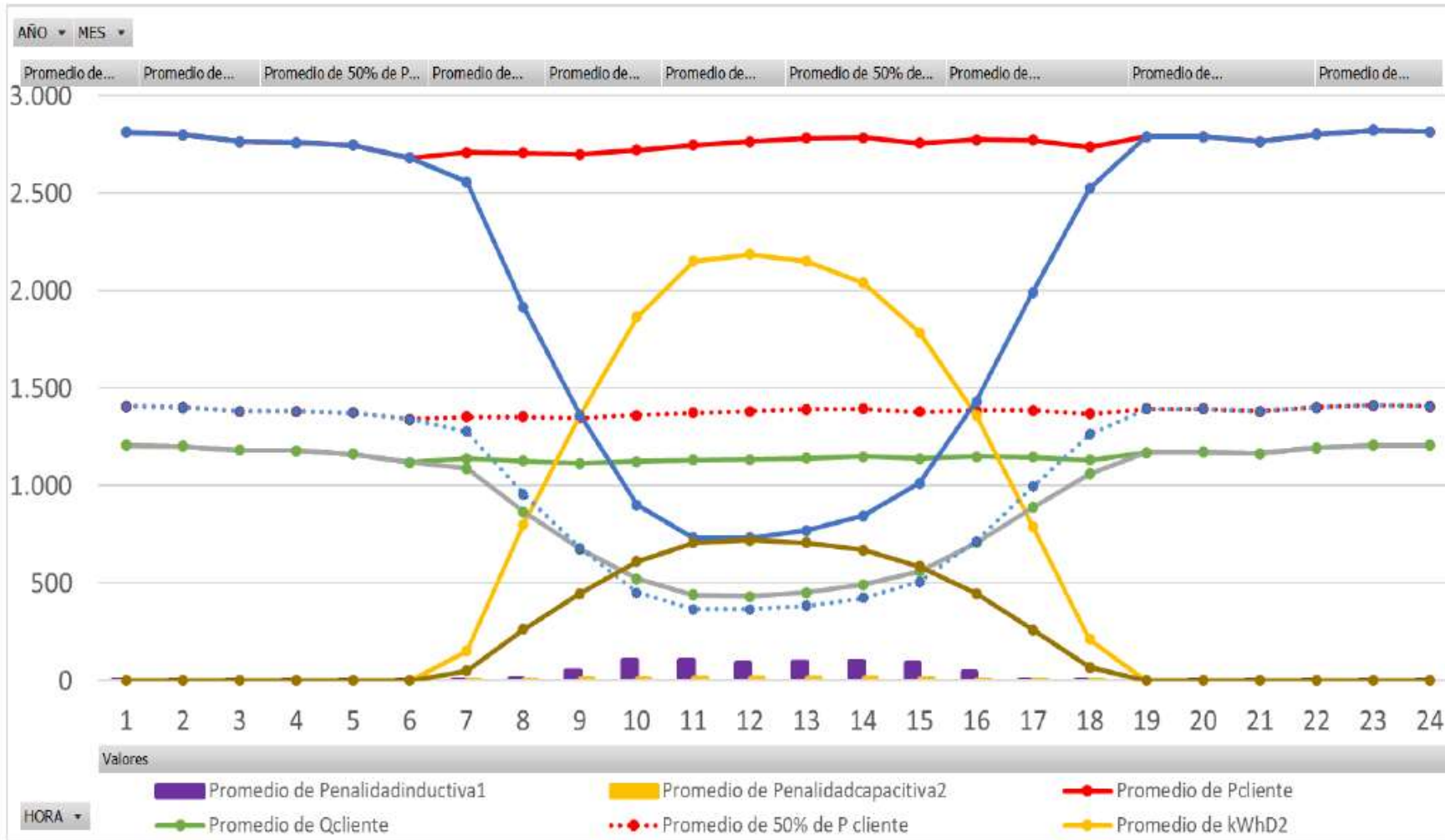
## Control Q absoluto

Especificación constante de una potencia reactiva absoluta en VAR



## Proyección de consumo de la red del OR con Fotovoltaico FP=0,95

A continuación se muestra el promedio horario de P y Q demandado de la red, consumido por la carga y generado por el SFV FP=0,95 lazo abierto



La curva roja es la demanda de P de la carga que antes se consumía toda de la red del OR (la curva roja punteada era el 50% de P demandada de la red)

La curva amarilla es la generación de P del sistema fotovoltaico

La curva café es la potencia reactiva que aporta el sistema fotovoltaico con factor de potencia 0,95

La curva verde es la demanda de Q de la carga.

La curva gris con el marcador verde es el nuevo consumo de Q de la red del O.R

La curva azul es el nuevo consumo de P de la red del OR. La cual disminuye a medida que aumenta la generación solar (La curva azul punteada es el nuevo 50% de P demandada de la red.)

Las barras moradas representan la penalidad por exceso de consumo de energía reactiva (reactiva inductiva).

Las barras Anaranjadas representan la penalidad por exportación de Q – Reactiva capacitiva

- En este caso la curva gris con marcador verde supera la azul punteada (la Q demandada de la red del O.R no supera el 50% de P demandada de la red del O.R). Se puede evidenciar que disminuye la penalidad por inductiva si se compara con FP=1.0.
- La penalidad por capacitiva se presenta porque hay horas en las que el SFV genera reactiva pero la carga no se la consume, exportándose a la red

## Proyección de consumo de la red del OR con Fotovoltaico FP=0,95

A continuación se muestra la proyección horaria de P y Q demandado de la red, consumido por la carga y generado por el SFV FP=0,95 lazo abierto para el día 10/04/2022

La curva roja es la demanda de P de la carga que antes se consumía toda de la red del OR (la curva roja punteada era el 50% de P demandada de la red)

La curva amarilla es la generación de P del sistema fotovoltaico

La curva café es la potencia reactiva que aporta el sistema fotovoltaico con factor de potencia 0,95

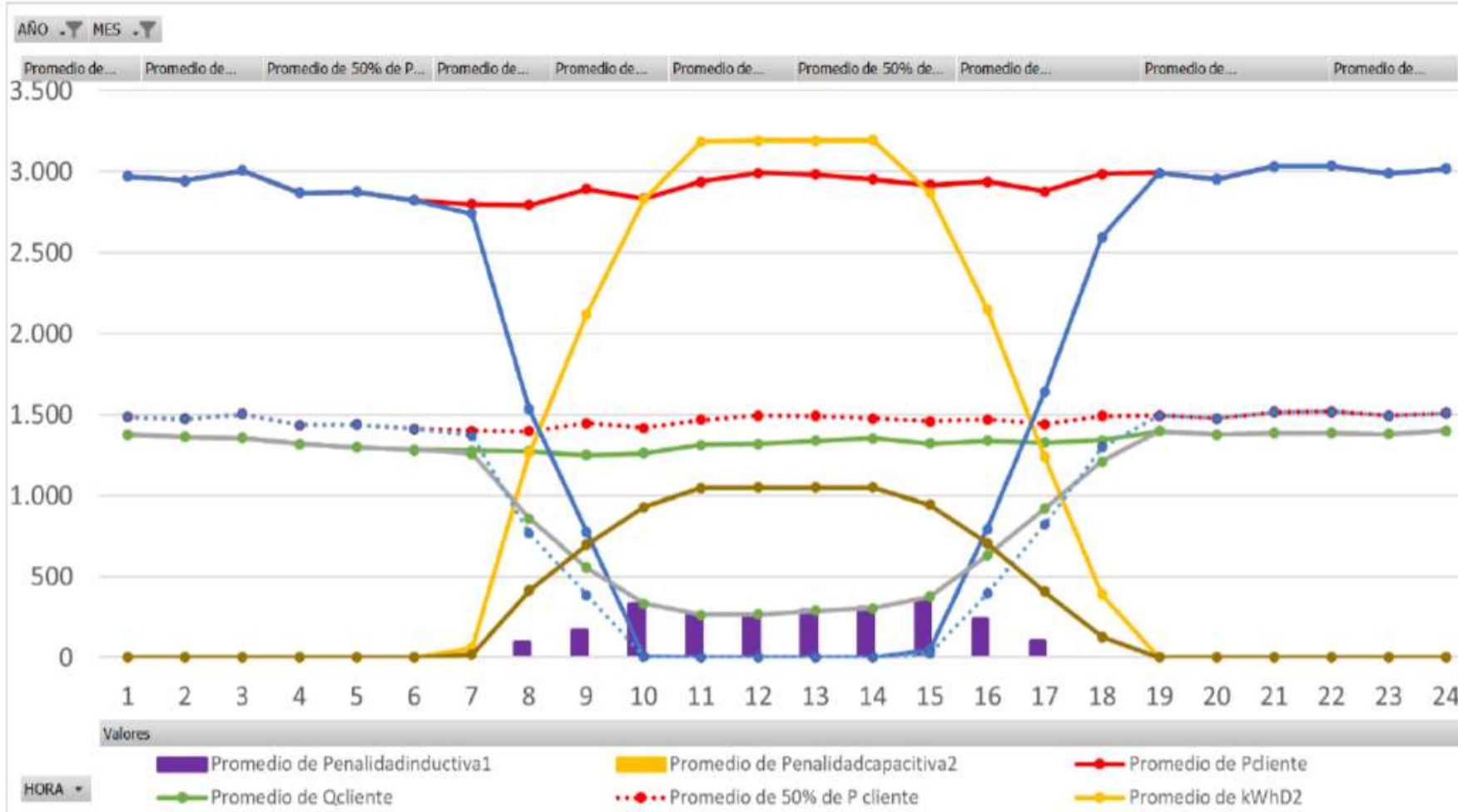
La curva verde es la demanda de Q de la carga.

La curva gris con el marcador verde es el nuevo consumo de Q de la red del O.R

La curva azul es el nuevo consumo de P de la red del OR. La cual disminuye a medida que aumenta la generación solar (La curva azul punteada es el nuevo 50% de P demandada de la red.)

Las barras moradas representan la penalidad por exceso de consumo de energía reactiva. – Reactiva inductiva

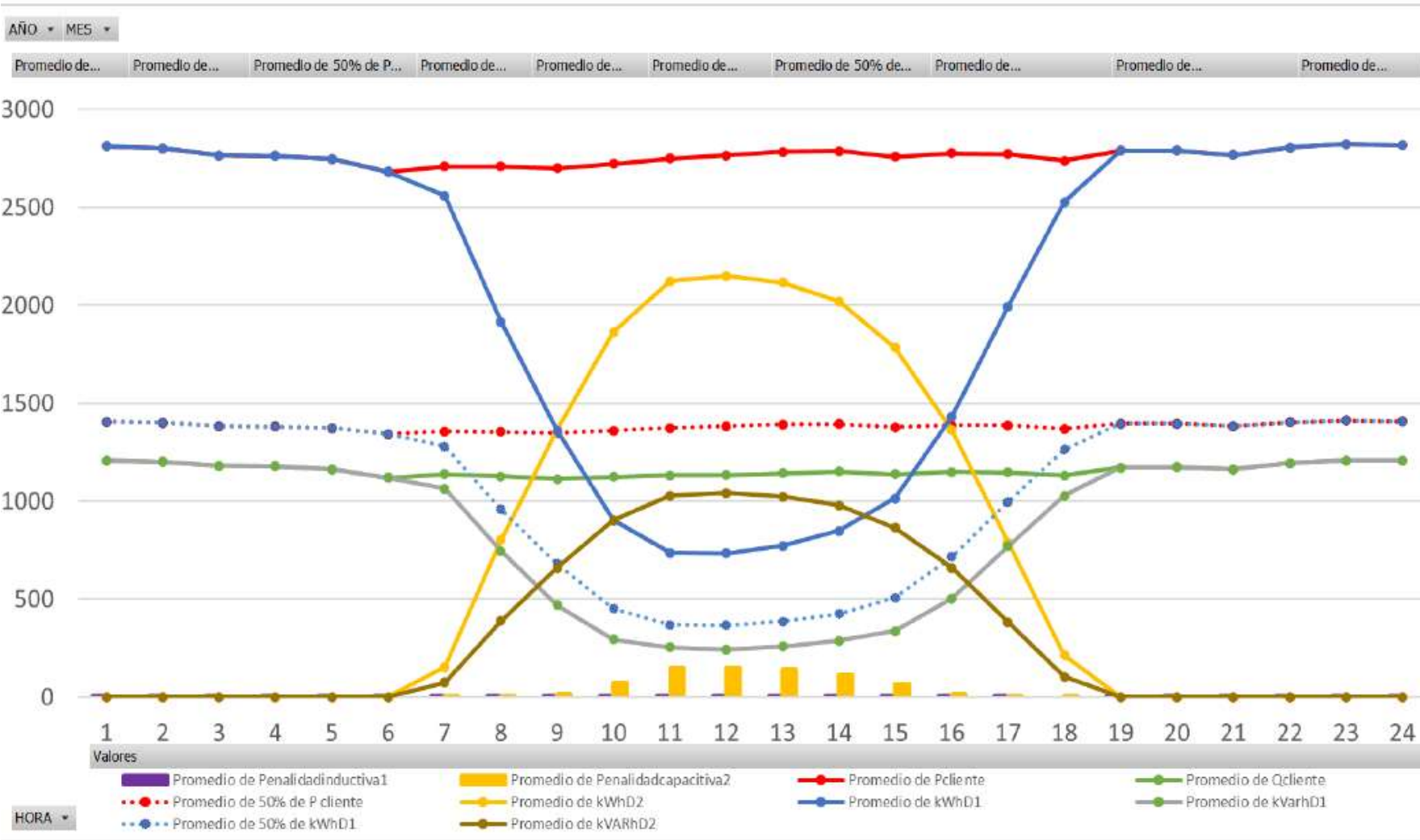
Las barras Anaranjadas representan la penalidad por exportación de Q – Reactiva capacitiva



- Cuando la curva gris con marcador verde supera la curva azul punteada, se presenta penalidad por reactiva inductiva. Se observa que con respecto a FP 1.0 disminuye la penalidad por reactiva inductiva

# Proyección de consumo de la red del OR con Fotovoltaico FP=0,9

A continuación se muestra el promedio horario de P y Q demandado de la red, consumido por la carga y generado por el SFV  
 FP=0,9 lazo abierto



La curva roja es la demanda de P de la carga que antes se consumía toda de la red del OR (la curva roja punteada era el 50% de P demandada de la red)

La curva amarilla es la generación de P del sistema fotovoltaico

La curva café es la potencia reactiva que aporta el sistema fotovoltaico con factor de potencia 0,90

La curva verde es la demanda de Q de la carga.

La curva gris con el marcador verde es el nuevo consumo de Q de la red del O.R

La curva azul es el nuevo consumo de P de la red del OR. La cual disminuye a medida que aumenta la generación solar (La curva azul punteada es el nuevo 50% de P demandada de la red.)

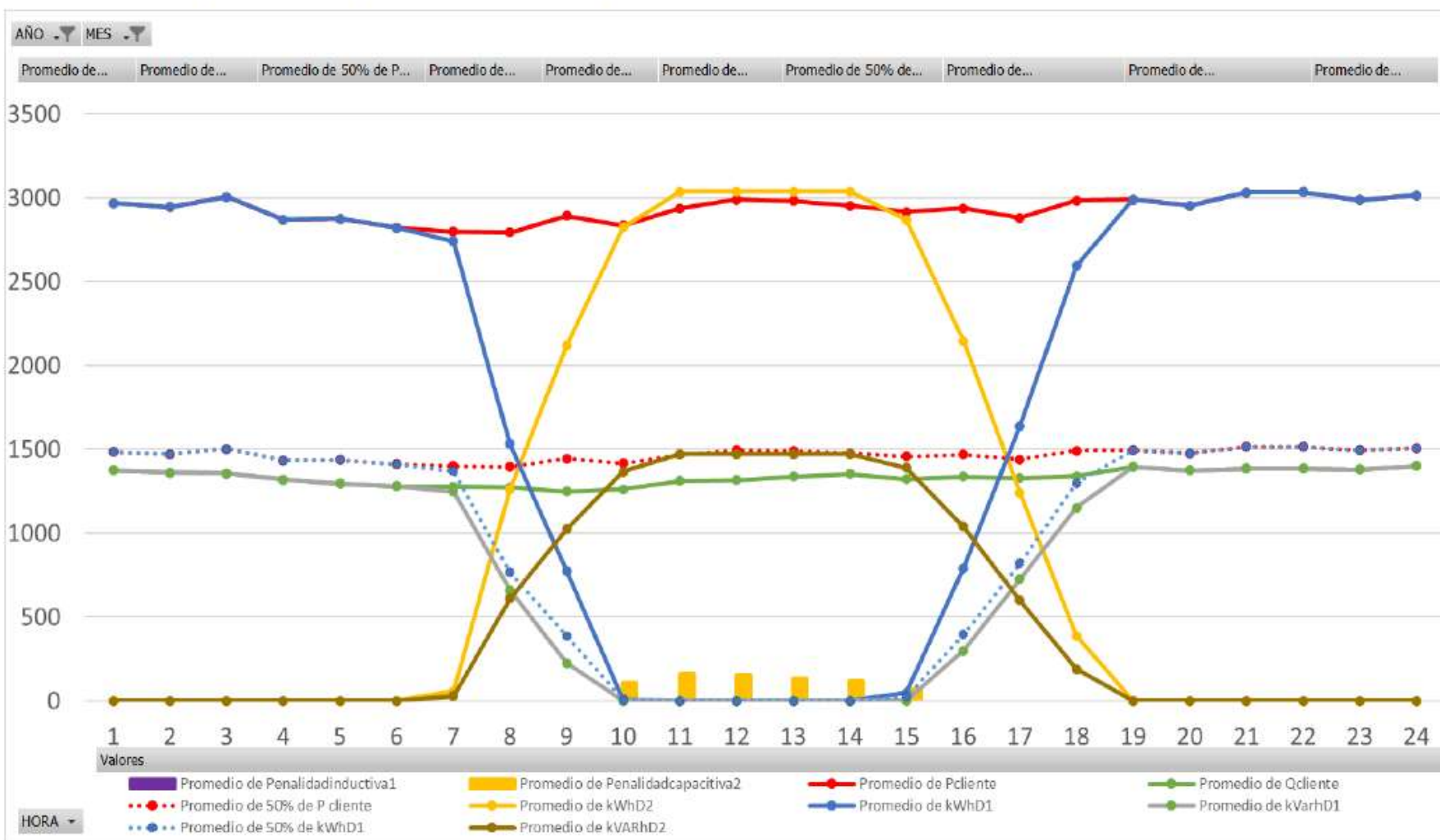
Las barras moradas representan la penalidad por exceso de consumo de energía reactiva (reactiva inductiva).

Las barras Anaranjadas representan la penalidad por exportación de Q - Reactiva capacitiva

- La curva gris con marcador verde no supera la azul punteada (la Q demandada de la red del O.R no supera el 50% de P demandada de la red del O.R) dado que se muestra el promedio de todos los datos disponibles. Se puede evidenciar que disminuye la penalidad por inductiva.
- La penalidad por capacitiva se presenta porque hay horas en las que el SFV genera reactiva pero la carga no se la consume, exportándose a la red

## Proyección de consumo de la red del OR con Fotovoltaico FP=0,9

A continuación se muestra la proyección horaria de P y Q demandado de la red, consumido por la carga y generado por el SFV FP=0,90 lazo abierto para el día 10/04/2022



La curva roja es la demanda de P de la carga que antes se consumía toda de la red del OR (la curva roja punteada era el 50% de P demandada de la red)

La curva amarilla es la generación de P del sistema fotovoltaico

La curva café es la potencia reactiva que aporta el sistema fotovoltaico con factor de potencia 0,90

La curva verde es la demanda de Q de la carga.

La curva gris con el marcador verde es el nuevo consumo de Q de la red del O.R

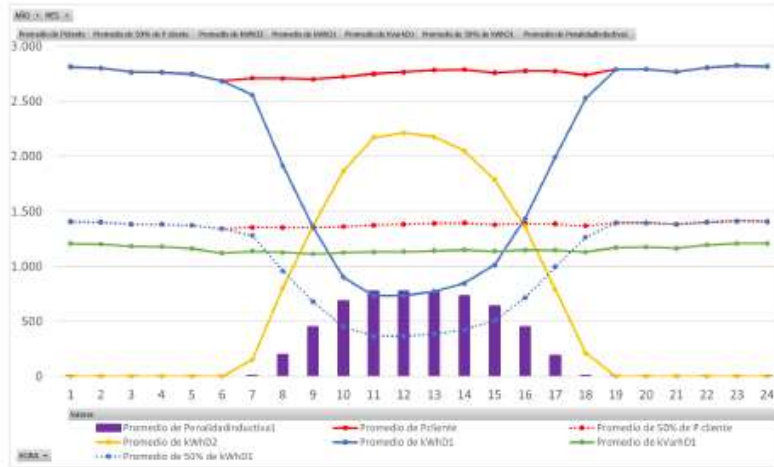
La curva azul es el nuevo consumo de P de la red del OR. La cual disminuye a medida que aumenta la generación solar (La curva azul punteada es el nuevo 50% de P demandada de la red.)

Las barras moradas representan la penalidad por exceso de consumo de energía reactiva.

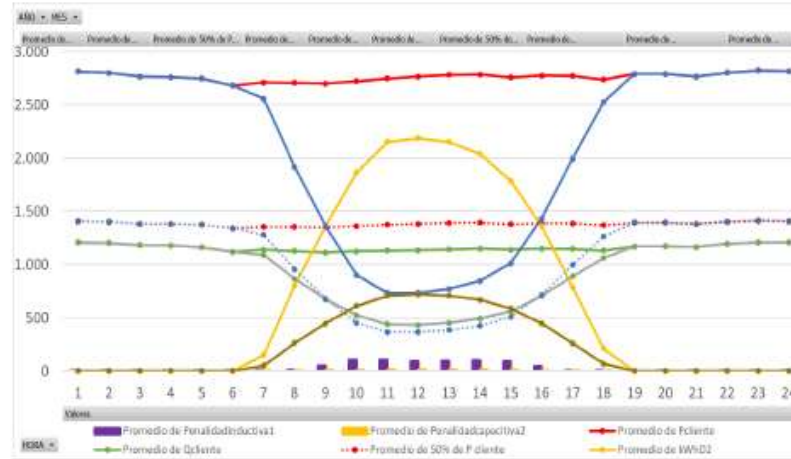
Las barras Anaranjadas representan la penalidad por exportación de Q – Reactiva capacitiva

- Es este escenario se cubre toda la reactiva penalizada del cliente
- Se puede observar que a las 10 am la generación de Q del SFV supera lo demandado por la carga, por tanto “lo que sobra” se exporta a la red como reactiva capacitiva

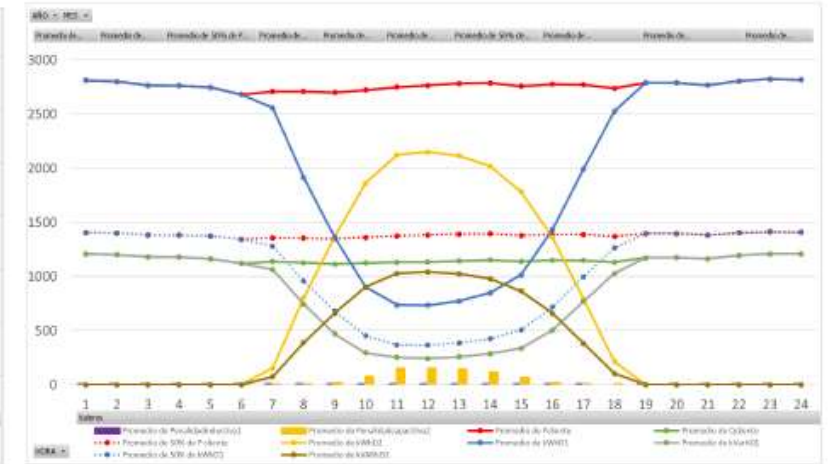
# Como Resumen:



F.P=1.0



F.P=0,95



F.P=0,90

- Se puede plantear que el SFV generará una cantidad de reactiva (0% FP=1.0; 32% FP=0,95; 48% FP=0,90) con un factor de potencia determinado y que esta dependerá de la radiación solar, pero se aclara que con un F.P fijo no se puede garantizar que no habrá penalidad inductiva o capacitiva.
- Fijar un F.P busca disminuir penalidad inductiva pero se puede incrementar la capacitiva
- El sistema de compensación se debe instalar en la frontera comercial del cliente que es donde se encuentra instalada la medida comercial

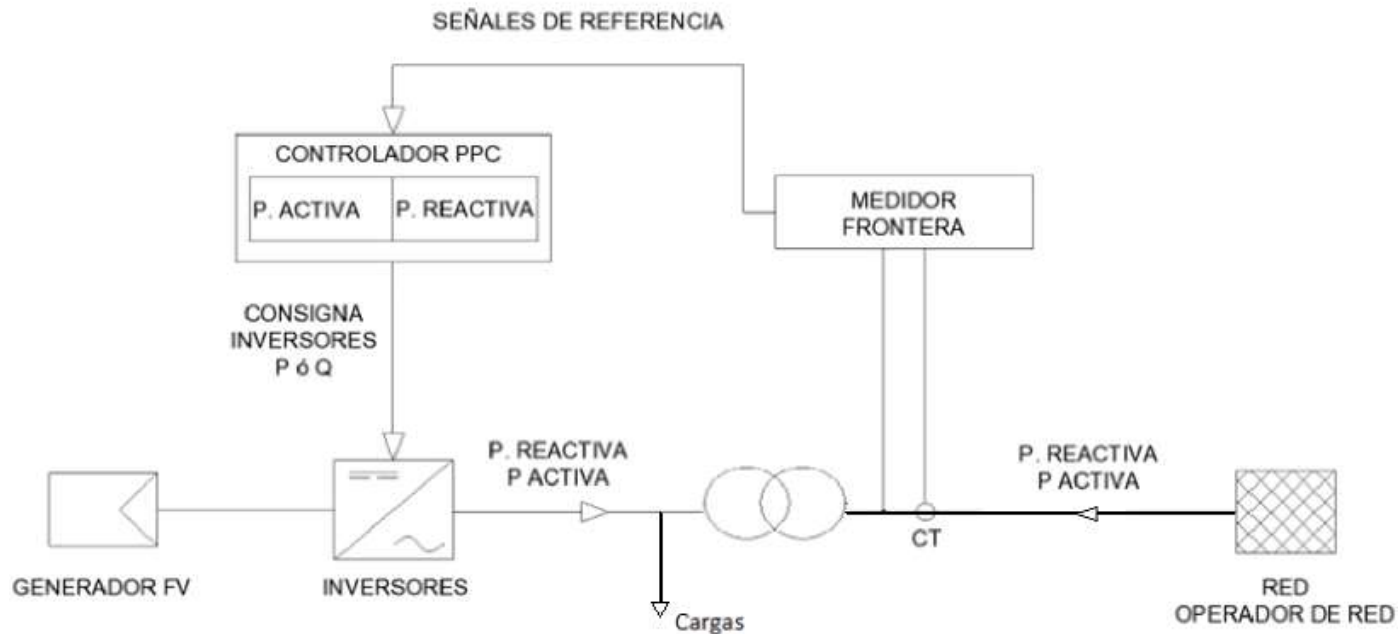


# Controlador de planta (PPC) – Lazo Cerrado de Control

En esencia, un PPC es un medio para controlar el comportamiento de la planta en términos de niveles de producción, ingresos, cumplimiento y estabilidad de la red.

Las variables que puede controlar son:

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Factor de potencia
- Tensión
- Frecuencia

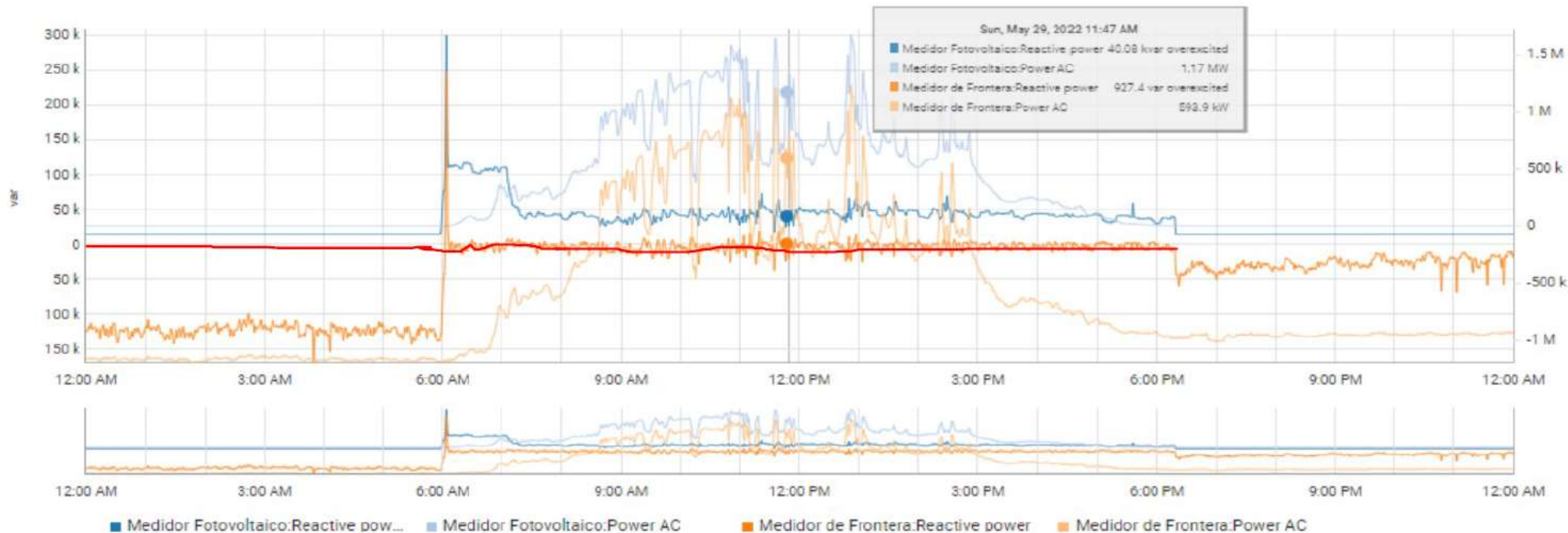


# Control de reactivos Lazo cerrado usando Inversores

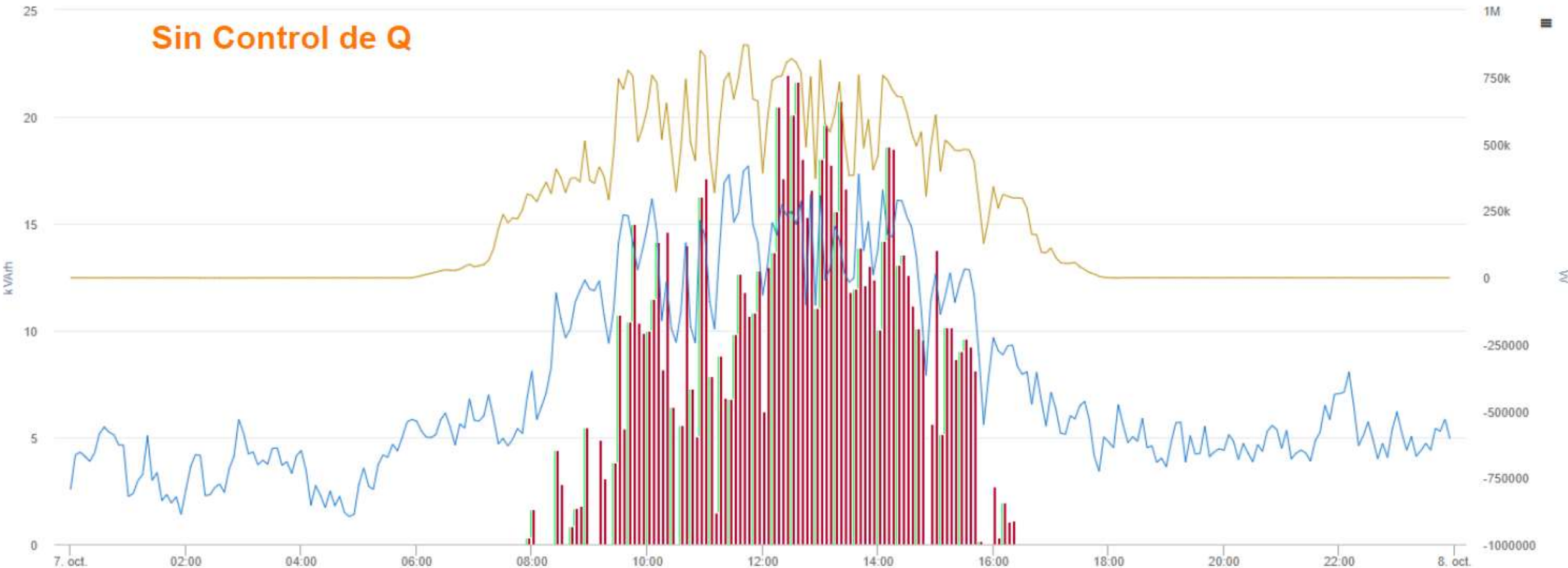
Chart

< 29 May 2022 >

Real-time values

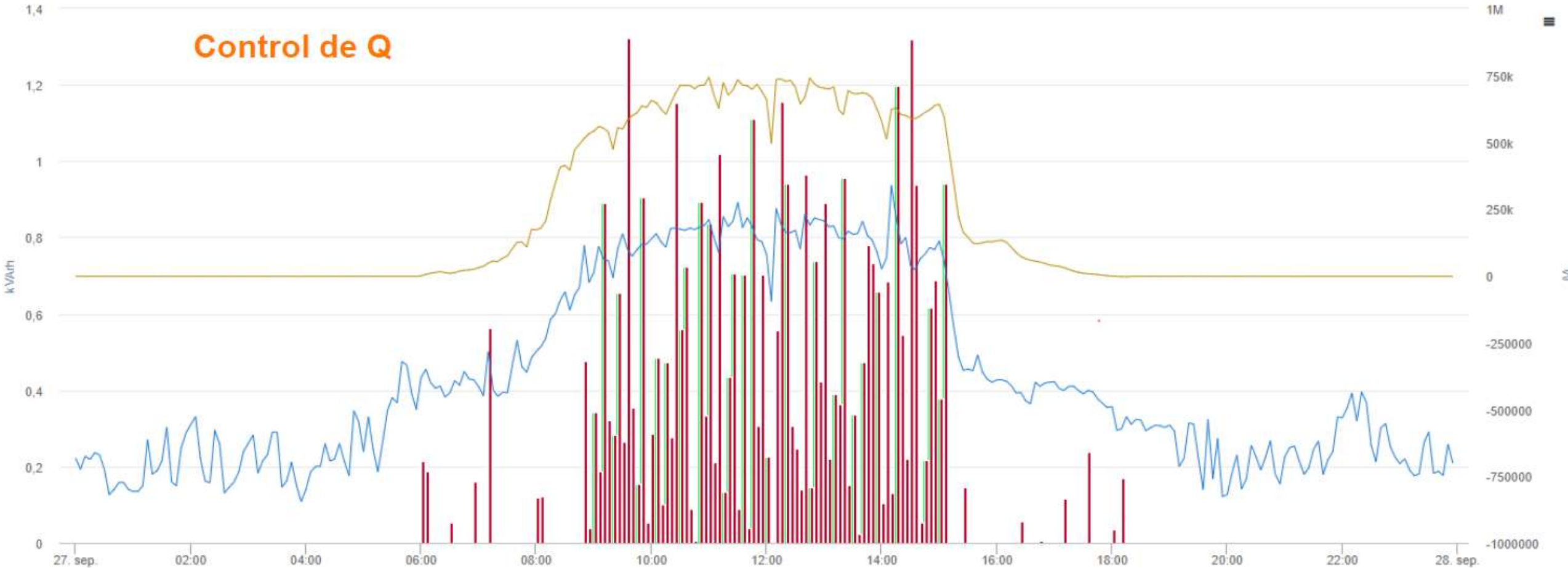


# Control de reactivos Lazo cerrado usando Inversores



- **Línea amarilla – Potencia Activa en medidor FV**
- **Línea Azul – Potencia Activa en Frontera comercial**
- **Barras – Penalidad por transporte de reactivos.**

# Control de reactivos Lazo cerrado usando Inversores



- Se mitigan las penalidades.
- Cuando la línea Azul (P en Frontera) Entrega excedentes (Mayor a Cero) o está cercano a cero, las penalidades aparecen.

# Control de reactivos Lazo cerrado usando Inversores



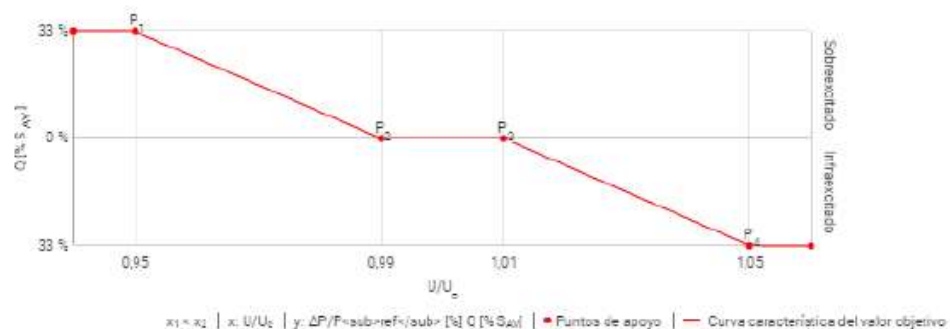
- El control con inversores no resuelve la penalidad en horas de no generación – al menos que los inversores estén configurados para entregar reactiva en la noche.
- Las penalidades durante el día se mitigan con el control, pero no se eliminan, sobretodo cuando la potencia proveniente de la red es cercana a cero.

# Control de Tensión Q(U)

Curva característica Q(U)

Tensión				
Valor más grande				
Punto de apoyo	x: U/U <sub>e</sub>	y: Valor objetivo Q [% S <sub>Ad</sub> ]	Activación	
P <sub>1</sub> (x <sub>1</sub> ; y <sub>1</sub> )	0,95	33	%	Sobreexcitado / Iny. inductiva / Imp. cap. -
P <sub>2</sub> (x <sub>2</sub> ; y <sub>2</sub> )	0,99	0	%	
P <sub>3</sub> (x <sub>3</sub> ; y <sub>3</sub> )	1,01	0	%	
P <sub>4</sub> (x <sub>4</sub> ; y <sub>4</sub> )	1,05	33	%	Infraexcitado / Iny. cap. / Imp. ind. ▾

Asistente gráfico



El OR debe definir el método de control de tensión deseado de los disponibles y declarados por el Autogenerador – **en función a los límites declarados de su planta.**

Limitación de valor de regulación

Activación

**LIMITES**

Q<sub>y</sub> lower limit  
33

% ⓘ

Infraexcitado / Iny. cap. / Imp. ind.

Q<sub>y</sub> upper limit  
33

% ⓘ

Sobreexcitado / Iny. inductiva / Imp. cap.

COS φ<sub>y</sub> lower limit  
0,9

ⓘ

Infraexcitado / Iny. cap. / Imp. ind.

COS φ<sub>y</sub> upper limit  
0,9

ⓘ

Sobreexcitado / Iny. inductiva / Imp. cap.

# Preguntas



**CREAMOS  
VALOR  
SOCIAL**

# Síguenos en nuestras redes sociales



Escanea con tu celular el código QR según la red social de tu preferencia

