

OLTC en profundidad — setpoint, deadband, coordinación maestro-esclavo y buenas prácticas

En este contenido vamos a eximir el **OLTC**: cómo decide un cambio de tap, cómo evitar el **hunting** y cómo coordinar varios transformadores para que la red deje de pelearse consigo misma. Tu meta es simple: **máxima estabilidad con el mínimo número de operaciones.**



Principio en 20 segundos

Un **OLTC** regula el **voltaje secundario** del transformador **bajo carga** cambiando la relación de transformación en **pasos discretos**. Cada paso mueve la tensión una fracción de pu; el regulador compara un **setpoint** con la medida y decide si mover, esperar o bloquear.

Parámetros que mandan

Setpoint

Valor objetivo de tensión

Deadband

Banda muerta de tolerancia

Tiempo de retardo

Espera antes de operar

Tamaño del paso

Magnitud de cada cambio

Límite de operaciones

Máximo por hora/día

Cinco parámetros definen el carácter del regulador: **setpoint**, **deadband** (banda muerta), **tiempo de retardo** antes de cada operación, **tamaño del paso** y **límite de operaciones** por hora/día. Setpoint muy alto o deadband muy angosta hacen que el OLTC 'juegue ping-pong'; una **banda de 1-2%** con retardos de **10-30 s** suele estabilizar perfiles en transmisión.



¿Dónde mides? Local vs. remoto

Medida local

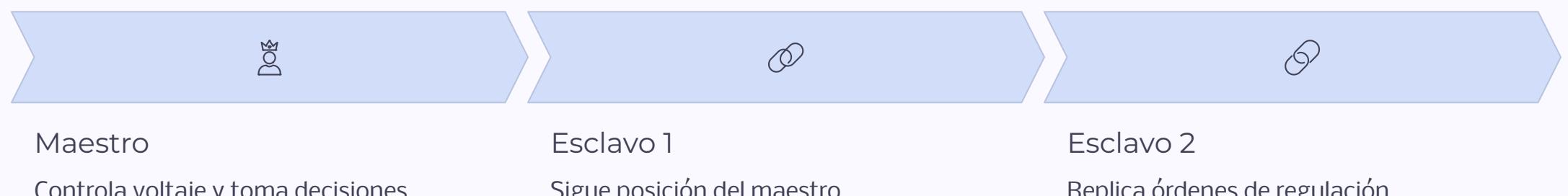
Si regulas por **medida local** en el secundario, estabilizas la barra del trafo.

Medida remota

Si regulas por **medida remota** (line-drop compensation o sensor remoto), persigues la tensión en el extremo de un alimentador. Remoto es útil cuando la caída de línea es significativa, pero exige comunicaciones confiables y criterios de seguridad: si pierdes la señal remota, el regulador debe **fallar a local**.

Coordinación de múltiples transformadores — maestro-esclavo

Cuando dos o más transformadores alimentan la **misma barra**, no deben tomar decisiones **independientes**. Define un **maestro** con lazo de voltaje y uno o más **esclavos** que siguen la **posición de tap** del maestro o su orden de regulación. ¿El objetivo? Evitar **circulación de reactivos** y que cada OLTC corrija el efecto del otro. Si no hay maestro-esclavo, al menos separa **deadbands** y **retardos** para que solo uno opere primero.



Evitar hunting (el arte de no mover de más)

Aplica tres reglas: uno, **deadband suficiente** para filtrar ruido y pequeñas oscilaciones; dos, **retardo temporal** antes de cada paso para confirmar que el desvío persiste; tres, **bloqueos lógicos** cuando el sistema es inestable o hay eventos de corta duración (maniobras, arranques grandes). Sube tensión **de a un paso**, valida y detente si ya entraste en banda.

Interacción con reactivos (shunt / FACTS)

01

STATCOM/SVC

Primero para sostener dinámica – corrección rápida y continua

02

OLTC

Luego para centrar la banda – corrección lenta y discreta

03

Shunt

Por último para afinar o liberar margen – corrección por pasos

El OLTC corrige **lento y discreto**; los **shunt** corrigen por **pasos**; los **FACTS** corrigen **rápido y continuo**. Define **jerarquía**: primero STATCOM/SVC para sostener dinámica, luego OLTC para centrar la banda, y por último shunt para afinar o liberar margen. Sin jerarquía, verás un **OLTC** persiguiendo a un **STATCOM** que ya corrigió, o shunts encendidos sin necesidad.

Límites mecánicos y de confiabilidad

- **Cada operación de tap desgasta el conmutador.** Muchos operadores fijan un **límite de maniobras** por día y alarmas por **exceso de operaciones**. Un OLTC que opera sin parar **no** está 'haciendo bien su trabajo': está **mal ajustado** o corrigiendo un síntoma de otro problema (por ejemplo, una barra **PV→PQ** cercana o **reactivos** mal ubicados).

Casos típicos qué harías tú

1	Caso uno Problema: barra a 0,947 pu, OLTC con deadband 0,5% y retardo 5 s. Resultado: dos o tres operaciones seguidas y sobrecorrige a 1,01 pu. Corrección: amplía deadband a 1% y sube el retardo a 20 s.
2	Caso dos Problema: dos trafos en paralelo sin coordinación; uno sube, el otro baja. Corrección: define maestro-esclavo y alineación de taps.
3	Caso tres Problema: caída de tensión al final de un corredor 220 kV. Corrección: activa compensación de caída o regulación remota; si la comunicación es intermitente, vuelve a local hasta estabilizar.

Señales de buen ajuste

- Pocas operaciones, pero **oportunas**
- Perfil en banda la mayor parte del tiempo
- **Cero** oscilaciones sostenidas
- **Coherencia** con shunt y FACTS cercanos

Cuando mires el registro del día, deberías contar **pocas maniobras** y cambios **justificados** por eventos reales.

Dominar el OLTC es dominar el **centro** de la regulación. En el próximo contenido vamos con los **shunt: capacidores y reactores**; dónde usarlos, en qué tamaño y cómo evitar sobrevoltajes o pérdidas innecesarias.

Shunt — capacitores y reactores

Ubicación, pasos, riesgos y
buenas prácticas

Hoy vas a decidir **dónde, cuánto y cuándo** conmutar **capacitores y reactores** en transmisión. La meta es simple: sostener perfiles de tensión con **la menor cantidad de pasos** y **cero efectos colaterales**.



Idea central en una frase

Los **capacitores shunt** **inyectan Q** y **suben V**; los **reactores shunt** **absorben Q** y **bajan V**. Son ajustes **discretos**, no continuos; por eso mandan la **ubicación** y el **tamaño del paso**.

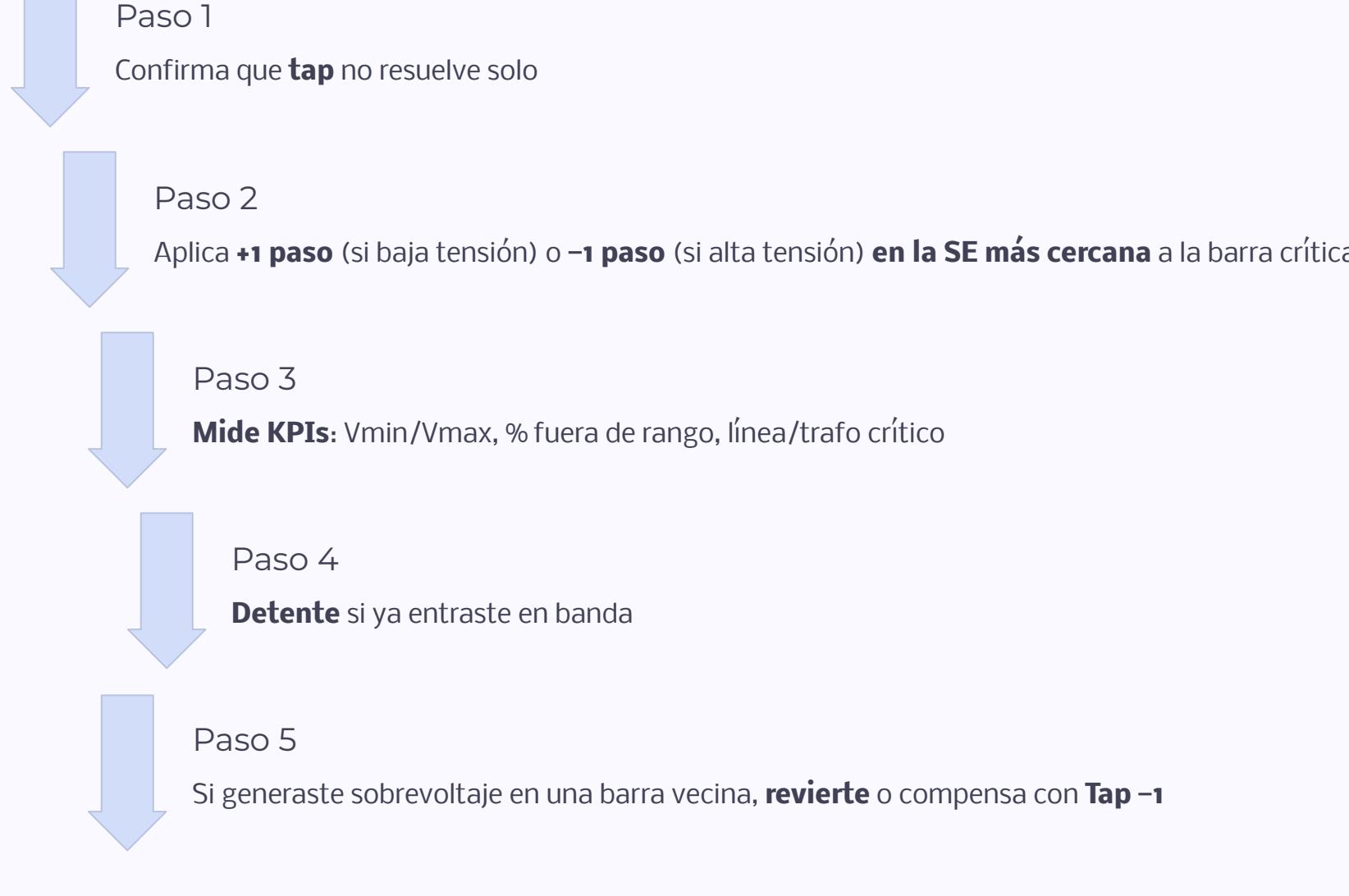
Ubicación — dónde rinden más

Compensa **cerca de la barra sensible**. Si una barra A tiene **alto dV/dQ**, un pequeño MVAr allí produce una gran mejora. Lejos de A, la misma conmutación se 'diluye'. En extremos de líneas largas, un capacitor local estabiliza mejor que uno aguas arriba.

Dimensionamiento por pasos — fineza vs. impacto

Los pasos típicos se eligen para que **un solo paso** mueva la barra **lo justo** sin rebasar límites. Si un paso te sube 0,02 pu y tu banda objetivo es estrecha, tendrás 'saltos' y **hunting**. Prefiere **pasos más finos** donde la red sea **débil** o haya clientes sensibles.

Secuencia de decisión (un paso a la vez)



Riesgos y cómo evitarlos

Sobrecompensación Subir V de una barra y empujar otra fuera de rango	Resonancias armónicas Capacitores pueden coincidir con armónicas del sistema; usa bancos filtrados cuando aplique y evita configuraciones que exciten la 5 ^a /7 ^a	Transitorios de conmutación Coordina conmutación con retardos y, si existe, cierre sincrónico
Ferroresonancia Atención en SE con transformadores de tensión y capacitores; evita combinaciones propensas en topologías especiales	Coordinación pobre Shunts 'peleándose' con OLTC o FACTS	

Buenas prácticas operativas

Define **lógica de prioridad**: primero corrige con **Tap** si alcanza; luego **shunt**; si hay dinámica, deja **STATCOM/SVC** sosteniendo y usa shunt para la 'base' de Q. Establece **histeresis** y **retardos** para que los bancos no conmuten de ida y vuelta. Documenta **posición** y **hora** de cada paso: sin trazabilidad, no hay ajuste fino.

Casos rápidos

Baja tensión local	Alta tensión nocturna	Red débil
+1 paso en la SE de la barra A sube A a 0,952 pu; paras.	-1 paso de reactor en la SE de B baja B de 1,058 a 1,03 pu; valida que A no caiga.	Pasos grandes provocan saltos de 0,02 pu; reemplazas por pasos más pequeños y eliminas el 'diente de sierra' del perfil.

Errores frecuentes que evitaremos

- Compensar **lejos** de la barra crítica
- Conmutar **dos pasos seguidos** sin medir
- Ignorar **armónicas** y **transitorios**
- Olvidar que shunt **no arregla** problemas de **transferencia**: si el cuello es P, revisa topología

Con shunt bien ubicados y pasos adecuados, la red queda 'plana' con pocas maniobras. En el próximo contenido verás **SVC/STATCOM**: soporte dinámico de Q para cuando los pasos discreto-lentos ya no alcanzan.

FACTS — SVC/STATCOM

Cuándo usar, setpoints y coordinación con OLTC y shunt

Hay situaciones donde los pasos discretos y los taps no bastan: la tensión **oscila**, la red es **débil** o la variación de carga es **rápida**. Ahí entran los **FACTS: SVC y STATCOM**. Tu tarea es **cuándo** usarlos, **con qué setpoint** y **cómo coordinarlos**.

Principio operativo (sin ecuaciones)

SVC

SVC ajusta Q combinando **reactores y capacitores controlados por tiristores**.

Pierde capacidad cuando V cae mucho.

STATCOM

STATCOM usa un **convertidor** que inyecta o absorbe **corriente** casi instantáneamente.

Mantiene corriente, por eso sostiene mejor la **tensión baja**.

Ambos regulan tensión con una **característica Q-V con pendiente ('droop')**: cuanto más se aleja V del setpoint, más Q entregan.

Cuándo convienen

 Variación rápida de carga Arranques grandes, tracción, arcos	 Red débil Baja potencia de cortocircuito	 Parques renovables Oscilaciones de V
 Evitar flicker Suavizar respuesta donde pasos shunt son bruscos	 Respaldo dinámico Cuando generadores alcanzan Q-limits y pasan de PV→PQ	

Setpoints y modos de control

Usa **control de tensión** con **setpoint** (por ejemplo, 1,00 pu) y **droop** suficiente para evitar pelearse con OLTC y shunt. Si hay intercambio de reactivos con otra zona, el modo **control de Q** o **factor de potencia** puede ser preferible. Importante: define **rampas** y **límites** para que el regulador no llegue a saturación ni provoque oscilaciones.

Coordinación con OLTC y shunt (jerarquía)

1º STATCOM/SVC Sostiene la dinámica	2º OLTC Centra la banda	3º Shunt Ajusta la base de Q
---	----------------------------	--

Establece **deadbands** y **prioridades**: no dejes a STATCOM 'persiguiendo' un OLTC que corrige cada minuto. Si STATCOM está saturado, no subas más el setpoint: **reduce** la exigencia o **apoya** con shunt.

KPIs y validación

Mide **spread ΔV**, **% fuera de rango**, **nº de maniobras** del OLTC y **carga** del elemento crítico. Un buen ajuste **reduce ΔV**, **elimina** % fuera de rango y **baja** el conteo de maniobras del OLTC. Si subir el setpoint mejora V pero sube la carga de una línea al 100%, estás trasladando el problema: ajusta.

Casos rápidos

Red débil STATCOM a 1,00 pu reduce ΔV de 0,10 a 0,04 y evita que OLTC opere 20 veces al día.	SVC cercano a Qmax Baja el setpoint 0,01 pu y apoya con +10 MVAr shunt; desaparece la saturación.	PV→PQ en generador Con STATCOM sostienes V local mientras liberas margen con tap; luego vuelves a setpoint intermedio.
---	--	---

Errores frecuentes que evitaremos

- Setpoint 'ambicioso' que obliga al STATCOM a **saturarse**
- Droop demasiado **agudo** que causa **hunting** contra OLTC/shunt
- Ignorar **límites térmicos** del convertidor
- Creer que FACTS arregla **transferencia**: si el cuello es P, esto no lo soluciona

Los FACTS son tu **amortiguador**: quitan la oscilación y sostienen tensión mientras las maniobras lentas hacen su trabajo. Bien coordinados, bajan maniobras, mejoran calidad y mantienen márgenes. En el próximo contenido, integraremos estas piezas en **procedimientos de regulación** por escenario.

Procedimientos por escenario

Baja tensión local, alta tensión nocturna y red débil

Llegó el momento de **operar por guiones**. Te voy a dictar tres **procedimientos cortos** para los escenarios más frecuentes: **baja tensión local, alta tensión nocturna y red débil**. En cada uno, seguimos la misma receta: **diagnóstico en 30 segundos, acción mínima, validación con KPIs y cierre trazable**.

Escenario 1 — Baja tensión **local** en una barra

01	Diagnóstico en 30 segundos	02	Acción mínima
	Confirmo convergencia ; miro Vmin y ubico la barra crítica . Reviso si el OLTC más cercano tiene margen de tap y si hay banco shunt local disponible. Verifico carga del elemento crítico para no empujarlo por sobre el 100%.		Si hay margen, Tap +1 en el OLTC asociado; si el OLTC está en tope, +1 paso de capacitor en la subestación de la barra. Una sola maniobra por vez.
03	Validación con KPIs	04	Cierre trazable
	¿ Vmin ≥ 0,95 ? ¿Bajó el % fuera de rango? ¿La línea/trafo crítico se mantiene < 100%? Si sí, paro . Si aún falta, evalúo segunda maniobra (tap adicional o +10 MVAr) y repito medición.		Registro Antes/Después , 'qué hice y por qué'; dejo decisión y recomendación (p. ej., monitorear 2 h).

Escenario 2 — Alta tensión nocturna con sobrecompensación

01	Diagnóstico en 30 segundos	02	Acción mínima
	Vmax > 1,05 en barras de baja carga; varios bancos de capacidores conectados; reactores off ; OLTC con setpoint alto o banda angosta.		-1 paso del banco capacitor más cercano a la barra con V más alta . Si no hay capacitores, +1 paso de reactor en la zona afectada. Ajusto setpoint/deadband del OLTC si estaba persiguiendo tensión sin demanda.
03	Validación con KPIs	04	Cierre trazable
	¿ Vmax ≤ 1,05 ? ¿ΔV bajó? ¿Disminuyó el conteo de maniobras del OLTC? ¿Sigo dentro de límites térmicos?		Documento hora y posición final de cada banco; dejo recomendación de histeresis/retardos para evitar reconexión inmediata al amanecer.

Escenario 3 — Red débil (sensibilidad alta y oscilaciones)

01	Diagnóstico en 30 segundos	02	Acción mínima
	Pequeños pasos de shunt provocan saltos de 0,02 pu o más ; la tensión oscila con variación de carga; dV/dQ alto; potencia de cortocircuito baja; OLTC con muchas maniobras .		Activo STATCOM/SVC en control de tensión con setpoint 1,00 pu y droop suficiente para no pelear con OLTC. Reduzco el tamaño de paso de los shunt o limito su uso a la 'base' de Q. Dejo al OLTC centrando la banda, no persiguiendo la dinámica.
03	Validación con KPIs	04	Cierre trazable
	ΔV baja; 0% fuera de rango; maniobras del OLTC caen de decenas a pocas por día; la línea crítica se mantiene < 95%. Si el STATCOM quedó saturado , bajo setpoint 0,01 pu o apoyo con +10 MVAr en el punto más sensible.		Registro setpoint/droop del FACTS, cambios en pasos de shunt y resultado Antes/Después.

Notas de seguridad y criterio transversal

- ☐ Si aparece una **protección** en medio de la regulación –por ejemplo, **Z1 o 67N-**, **detengo maniobras** y priorizo **seguridad**: verifico despeje, bloqueo si corresponde y recién después retomo la regulación. Si un KPI **empeora, revierte** inmediatamente la última maniobra y vuelve a medir. Y si necesitas **más de dos maniobras** para entrar en banda, probablemente estás tratando un **síntoma**: reevalúa el diagnóstico.

Cierre

Un buen operador no memoriza números: **memoriza procedimientos**. Con estos tres guiones, puedes dejar cualquier caso típico **en rango**, con **mínima intervención** y **evidencia lista** para el reporte. En el próximo contenido, empaquetamos estos escenarios en una **lista de chequeo única** para que no olvides nada en terreno o en simulación.